Ouvrage Fertilisation non conventionnelle de l'olivier Juillet 2022

Book · July 2022

2 authors, including:

Chiraz Masmoudi Charfi
Institut de l'Olivier Tunisie





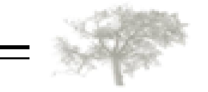
Chiraz Masmoudi Charfi
Naima Benzina Kolsi

FERTILISATION NON CONVENTIONNELLE DE L'OLIVIER, FERTIGATION

Imprint

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:
Éditions universitaires européennes
is a trademark of
International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group
17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius
Printed at: see last page
ISBN: 978-620-2-53841-1




FERTILISATION NON CONVENTIONELLE DE L'OLIVIER

FERTIGATION



Dr. Chiraz MASMOUDI CHARFI* et Pr. Naïma KOLSI BENZINA**

*Maître de Conférences, Institut de l'Olivier, Tunisie
** Professeur de l'Enseignement Supérieur, Institut National Agronomique de Tunisie.



2020



Résumé

La fertilisation est une composante essentielle dans la conduite d'une oliveraie. Elle est destinée à restituer les éléments nutritifs prélevés par la culture au cours de son cycle de développement pour assurer le renouvellement des pousses et la production d'olives et d'huile. Chez l'olivier, les éléments N, P, K et B sont les plus utilisés. Leur restitution se fait principalement par un apport au sol ou par pulvérisation foliaire. Mais d'autres méthodes plus ciblées, sont de plus en plus utilisées dans les plantations intensives d'oliviers comme la fertigation et l'injection au tronc de certains éléments nécessaires au bon déroulement de la culture, auxquelles l'agriculteur associe un épandage de broyat de bois de taille. L'apport de certains additifs tels que les acides aminés et les hormones s'est avéré efficace dans des situations diverses donnant une augmentation substantielle de rendement. L'établissement d'un programme de fertilisation est basé principalement sur l'objectif de production, c.-à-d. ciblant un rendement bien déterminé. Mais le diagnostic foliaire reste de première importance afin de corriger ce programme.

En Tunisie, si la technique de fertilisation classique semble de plus en plus être supplantée par la fertigation et l'application foliaire d'engrais dans les plantations intensives, ces dernières techniques ne sont pas encore maîtrisées du fait de l'absence de normes propres à la Tunisie en adéquation avec le potentiel de production des variétés utilisées et des conditions environnementales. Les recherches actuelles ont permis de mettre en place pour certains modes culturaux des guides et des normes pour les principales variétés d'olivier. En intensif, la diversité des conduites, des variétés, des conditions de culture rendent difficiles l'élaboration de calendriers de références.

Cet ouvrage est destiné à l'oléiculteur averti et au cadre technique concerné par la culture intensive irriguée de l'olivier. Les outils nécessaires pour assurer une gestion optimale de l'oliveraie y sont présentés. On y trouve, une revue bibliographique, des résultats de recherches obtenus en Tunisie et autour du bassin Méditerranéen relatifs aux méthodes conventionnelles et non conventionnelles de fertilisation de l'oliveraie, des applications et des procédures de calcul des paramètres de la fertigation qui font l'originalité de ce document et à partir desquelles l'utilisateur peut s'inspirer pour l'établissement d'un programme de fertigation propre à sa plantation.

Mots cles : olea europea, éléments nutritifs, exportations, programme de fertilisation, fertigation.

Abstract

Fertilization is an essential component in the management of an olive grove. It is intended to restore the nutrients taken up by the crop during its development cycle to ensure the renewal of shoots and the production of olives and oil. In the olive tree, the elements N, P, K and B are the most used. Their restitution is mainly carried out by applying them to the soil or by foliar spraying. Other more targeted methods are increasingly being used in intensive olive tree plantations, such as fertigation and the injection into the trunk of certain elements necessary for the good progress of the crop, to which the farmer associates a spreading of ground material of pruned wood. Additive elements such as amino acids and hormones have proven to be effective in various situations giving a substantial increase in yields. The establishment of a fertilization program is based primarily on the production objective, i.e. targeting a specific yield. However, foliar diagnosis remains of primary importance in order to correct this program.

In Tunisia, fertigation and foliar application of fertilizers in intensive plantations are not yet under control due to the absence of specific Tunisian standards in line with the production potential of the varieties used and environmental conditions. Current research has made it possible to set up guides and standards for certain farming methods for the main olive varieties. In intensive olive plantations, the diversity of behavior, varieties and growing conditions makes it more difficult to draw up reference calendars.

This work is intended for the experienced olive grower and the technical staff concerned with the intensive irrigated olive tree cultivation. The tools needed to ensure optimal management of the olive grove are presented. It includes a bibliographical review, research results obtained in Tunisia and around the Mediterranean basin relative to conventional and non-conventional methods of fertilization, applications and procedures for calculating fertigation parameters that make this document original and from which the user can draw inspiration for the establishment of a fertigation program specific to his plantation.

Key words: olea europea, nutrients, removals, fertilization, fertigation program.



Sommaire

Liste des tableaux

Liste des photos

Liste des figures

Introduction

L'expansion rapide de la culture irriguée de l'olivier a montré le besoin d'intégrer les études relatives aux aspects physiologiques, agronomiques…à celles qui concernent les outils de production, notamment la fertilisation et l'irrigation. Celles-ci constituent la base du modèle réussi de toute plantation oléicole. Pour l'olivier, l'azote, le phosphore, le potassium et le bore sont les éléments nutritifs les plus importants pour sa nutrition minérale.

La fertilisation est destinée à restituer les nutriments prélevés par la culture pour assurer le renouvellement des pousses et la production d'olives et d'huile. Ces prélèvements dépendent de nombreux paramètres qui sont liés à la plante et au sol **(Fernández-Escobar et al., 1999 ; Xiloyannis et al., 2002 ; Chatzissavvidis et Therios, 2003 ; Gargouri et Mhiri, 2003 ; Chatzissavvidis et al., 2004 ; Barranco et al., 2010 ; Gargouri et al., 2012).** Les éléments N, P, K et B sont impliqués dans différents processus métaboliques et physiologiques. Une fois absorbés, ils doivent se mettre en équilibre les uns avec les autres **(Xiloyannis et al., 2002).**
Les diagnostics effectués durant ces dernières années dans les plantations intensives en Tunisie et dans le monde ont révélé une utilisation abusive des engrais qui a conduit à une augmentation des coûts de production et à la pollution des terres **(Fernández-Escobar et al., 2006 ; Cameira et al., 2014 ; Albornoz ; 2016)**. Une étude récente a montré que seulement 20% des engrais apportés sont effectivement utilisés ; le reste est perdu par lessivage. Par ailleurs, il a été remarqué que la fertilisation est pratiquement limitée à l'apport de l'azote et que bien souvent, les oléiculteurs ne tiennent pas compte de la fertilité du sol **(Gargouri et Mhiri, 2003 ; López-Granados et al., 2004 ; Rapport de la Commission Nationale pour l'Amélioration de la productivité de l'olivier, 2011)** ni des apports effectués par l'eau d'irrigation, ce qui augmente le gaspillage des engrais et leur mauvaise utilisation.

Pour augmenter l'efficience de l'utilisation des engrais chimiques **(Barranco et al., 2010 ; Boulal et al., 2013 ; Cameira et al., 2014 ; Niederholzer, 2013 ; Fernández-Escobar et al., 2014 ; Fernández-Escobar et al., 2015)**, **la fertigation** est proposée comme alternative aux pratiques classiques, associant l'apport d'engrais solubles à l'eau d'irrigation. Durant ces dernières années, la fertigation a connu un progrès remarquable en oléiculture hyper intensive. Elle est d'autant plus intéressante qu'il s'agit de culture exigeante pour laquelle on réalise déjà en fertilisation au sol des apports très fractionnés. L'utilisation de solutions nutritives spécifiques permet d'atteindre un équilibre ionique optimal au niveau de la rhizosphère et d'aboutir au développement d'un système radiculaire et d'une frondaison équilibrés, une mise à fruits précoce et une production économiquement rentable. Une telle pratique permet de maintenir la fertilité du sol et de couvrir de manière régulière les exportations des éléments nutritifs qui sont prélevés de manière régulière et continue au cours du cycle de croissance. Son efficacité dépend de nombreux facteurs, notamment le type d'engrais utilisé, le mode d'apport, les conditions culturales et les pratiques horticoles associées. D'autres méthodes, non moins intéressantes, sont utilisées comme la **pulvérisation des engrais** azotés ou boriques qui permettent de redresser rapidement un bilan déficient. **L'injection des engrais au tronc** est une autre méthode de fertilisation pratiquée sur olivier **(Fernández-Escobar et al., 1993),** palmier **(Saleh et al., 2016)** et autres espèces comme le hêtre **(Veldeman, 1980)**, pour corriger les carences ferriques. Le choix de l'une ou de l'autre des méthodes dépend de la culture, de la conviction de l'agriculteur à les utiliser, du coût de l'opération et des conditions environnementales (texture du sol, salinité de l'eau d'irrigation…).

En Tunisie, la fertigation des plantations intensives n'est pas encore maîtrisée **(Commission Nationale pour l'Amélioration de la productivité de l'olivier, 2011)** et encore moins généralisée. L'absence de normes propres à la Tunisie en adéquation avec le potentiel de production des variétés utilisées et des conditions environnementales a conduit à une mauvaise utilisation de cette pratique

et à l'apparition de troubles nutritionnels et physiologiques, engendrant une baisse des productions et une perte des engrais, lesquels sont souvent utilisés à tort et bien massivement.

Sur le plan pratique, l'établissement d'un programme de fertigation passe obligatoirement par l'analyse foliaire des éléments majeurs (azote, potassium et phosphore) ainsi que de certains éléments mineurs et oligo-éléments. Les teneurs issues de ces analyses devront être comparées aux normes appliquées en oléiculture en vue de procéder aux corrections nécessaires au fur et à mesure de l'avancement de la campagne **(IOBC, 2002 ; Fernández-Escobar et al., 2004 ; Morales-Sillero et al., 2006 ; Connel et Vossen, 2007 ; Niederholzer, 2013 ; AFIDOL, 2018)**. Ils devront tenir compte aussi et essentiellement du niveau de production escompté. En effet, **le plan de fertigation doit être basé sur l'objectif de production**, qui ne peut être atteint que lorsque l'irrigation et la fertilisation sont toutes les deux correctement réalisées. Dans le cas contraire, des anomalies apparaissent: élévation du taux de salinité, sur-fertilisation ou sous alimentation hydrique et minérale, pertes des éléments nutritifs par lessivage...etc. Ces anomalies sont à l'origine de la détérioration de la qualité des olives et de la production. Les analyses au niveau du sol sont indispensables pour définir les limites de la fertigation pour un cas de culture donné.

Cet ouvrage est destiné à l'oléiculteur averti et au cadre technique concerné par la culture intensive irriguée de l'olivier. Nous y présentons les outils nécessaires pour assurer une gestion optimale de l'oliveraie. On y trouve, une revue bibliographique, des résultats de recherches obtenus en Tunisie et autour du bassin Méditerranéen, des applications et les procédures de calcul des paramètres de la fertigation, permettant à l'oléiculteur **l'établissement d'un programme de fertigation propre à sa plantation.**

One said:
"Olive trees are not big feeders".

« La fertilisation, c'est l'art de compenser les manques en anticipant les besoins des cultures, dans les limites du raisonnable » *JM Parmentier.*
"Fertigation is an environmental friendly method of fertilization"



GENERALITES

1. Principes de base de la fertilisation / fertigation

La fertilisation est l'action d'enrichir un sol en l'un ou plusieurs éléments chimiques pour ramener sa teneur à la concentration critique relative à une culture donnée afin d'augmenter la production végétale. L'élément chimique rajouté ne reste plus facteur limitant de la production.
Si ces éléments fertilisants sont dissous dans l'eau d'irrigation pour être apportés aux racines, on parle de fertigation.

Les 3 outils d'une gestion optimale de la fertilisation / fertigation sont:
L'analyse foliaire : Les premiers résultats d'analyses foliaires effectués en Tunisie en oliveraies irriguées datent de 1959 **(Buchman et al., 1959).**
Au champ, la première analyse se fait à l'âge de 2 ans sur des feuilles prélevées en Juillet dans la partie médiane des rameaux et qui se sont développées au cours de la saison écoulée, puis régulièrement tous les 1 an / 2 ans. Les feuilles qui présentent des anomalies ou des affections doivent faire l'objet d'un diagnostic à part. L'analyse foliaire est indispensable pour ajuster le programme de fertilisation de l'oliveraie.
L'analyse du sol : permet de diagnostiquer les déséquilibres nutritionnels et d'évaluer les besoins en amendements ; elle est nécessaire pour ajuster le pH et le rapport Ca/Mg. Les teneurs obtenues sont comparées aux normes pour les sols et aux valeurs fournies par l'analyse des feuilles **(Exemple).** Les arbres plantés sous des conditions différentes de sol, de microclimat ou de système d'irrigation sont analysés à part.
L'observation critique des arbres et des conditions environnementales : Les symptômes visuels sont complémentaires aux analyses du sol et des feuilles. Les anomalies de la croissance et les variations significatives des rendements sont révélateurs de déficiences (N, K et B).

Pour certains éléments comme le bore, l'analyse des fruits matures donne de meilleurs résultats que celle des feuilles **(Sanz et Montanes, 1995 ; Bouranis et al., 1999 ; Ben Khélil et al., 2010a et 2010b).** A ce stade la correction profitera aux organes qui se développeront durant la saison qui suivra.

2. Rôles des éléments nutritifs

Comme tous les végétaux, l'olivier puise le carbone, l'hydrogène et l'oxygène (95% de la masse végétale) dans l'air et dans l'eau. Les autres éléments sont prélevés du sol. Les éléments nutritifs sont classés selon leur importance en :

- **Eléments majeurs:** azote (N), phosphore (P) et potassium (K).
- **Éléments secondaires:** calcium (Ca), magnésium (Mg) et soufre (S).
- **Oligo-éléments:** zinc (Zn), fer (Fe), manganèse (Mn), cuivre (Cu), bore (B), molybdène (Mo) et chlore (Cl).

Les rôles des éléments nutritifs sont résumés au **Tableau 1.**

Tableau 1. Rôles des éléments minéraux majeurs, mineurs et oligo-éléments.

	N	P	K	Mg	Ca	B	Zn	Fe	Mo	Cu	Mn
Métabolisme général											
Métabolisme azoté											
Croissance											
Respiration											
Photosynthèse											
Synthèse de sucres											
Synthèse de la Chlorophylle											
Synthèse des auxines et activation des enzymes											
Transport et accumulation des sucres											
Autres synthèses (ADN-lipides-enzymes)											
Résistance aux maladies											
Floraison- Nouaison											
Induction florale											
Floraison											
Fécondation											
Nouaison											
Production											
Grossissement											
Maturité (Précocité)											
Qualité											
Fermeté du produit											
Qualité gustative											
Conservation											
Résistance au stress et régulation stomatique											
Stress et régulation											

Source : Yermiyahu et al., (2009) et Huber et Schaub (2011) – Amélioré par Masmoudi-Charfi.

L'azote est l'élément le plus consommé par l'olivier **(Tableau 2)**. Il stimule sa croissance végétative, augmente le pourcentage de fleurs parfaites **(Fernández-Escobar, 1999 ; Tsambardoukas, 2006; Chatzissavvidis et al., 2007 ; Erel et al., 2008; Fernández-Escobar et al., 2008 ; Therios, 2009)** et améliore la qualité de l'huile (composition acidique et teneurs en antioxydants) lorsqu'il est convenablement apporté **(Fernández-Escobar et al., 2006 ; Tekaya et al., 2013a et 2013b, 2016 ; Erel et al., 2013 ; Albornoz, 2016).** Il augmente la proportion de pulpe lorsqu'il est associé au potassium **(Morales-Sillero et al., 2008a ; Caporali, 2015).** La forme de N appliquée affecte la photosynthèse et la disponibilité des autres éléments **(Tsambardoukas, 2006)**. L'apport de l'azote doit se faire avant la période de croissance des pousses de printemps et couvrir toute la période de floraison, de nouaison et de développement des olives (surtout au début de l'été) **(Belguerri et al., 2016).** Mais l'apport excessif d'azote avant la nouaison conduit à une charge élevée en olives et favorise la formation de petits fruits et l'alternance de la production **(Fernández-Escobar et al., 2011).**

Le potassium a un rôle fondamental dans la régulation stomatique, dans la résistance de l'olivier au gel et à la sécheresse (il diminue le potentiel osmotique des cellules) **(Mengel et Ameke, 1982 ; Arquero et al., 2006 ; Restrepo-Diaz et al., 2008).** Il est indispensable pour la division cellulaire et pour la synthèse des sucres et des protéines **(Erel et al., 2008 ; Hegazi et al., 2011).** L'excès de potassium réduit le prélèvement de N.

Le phosphore est essentiel pour la synthèse des phospholipides **(Olsen and Sommers, 1982)**, la croissance des racines, le processus de fructification (floraison, nouaison, précocité de la production et le grossissement des olives) **(Erel et al., 2008)** et la photosynthèse. Son application précoce renforce le système radiculaire.

Le calcium intervient dans la construction de l'ossature des structures aériennes, dans le développement des racines et leur fonctionnement. Il est nécessaire pour la division cellulaire.

Le magnésium influence l'absorption et la translocation des phosphates. C'est un constituant essentiel de la chlorophylle ; il est impliqué dans le métabolisme des carbohydrates et leur transport vers les parties supérieures de l'arbre.

Le soufre est responsable des saveurs de l'huile d'olive **(Kailis et Harris, 2007).**

Le bore est nécessaire pour la pollinisation des fleurs, la germination et l'élongation du tube pollinique, le développement des fruits et la translocation des sucres. Il a un rôle majeur dans la formation du pollen et sa fertilité **(Delgado et al., 1994 ; Perica et al., 2001 ; Larbi et al., 2008 et 2011 ; Stellacci et al., 2010 ; Spinardi et Bassi, 2012).**

Le zinc stimule la croissance précoce des pousses et des fruits. Il est indispensable pour la biosynthèse des auxines.

Le fer et le manganèse sont impliqués dans la photosynthèse, dans la fixation de N et dans la réduction des nitrates **(Larbi, 2002 ; Chatzissavvidis et al., 2006 ; Chatzistathis et al., 2006).** Le Manganèse est nécessaire pour le développement des fleurs.

Le cuivre est impliqué dans les mécanismes cellulaires de défense, dans la respiration et la photosynthèse.

Le chlore contrôle le fonctionnement des stomates et la photosynthèse. Il réduit les effets des infections fongiques mais aussi l'activité de photosynthèse.

Le maintien d'une nutrition minérale équilibrée est essentiel pour optimiser le développement de l'olivier et sa production. Une attention particulière doit être attribuée aux éléments N, B et K pour réduire l'alternance de la production et garantir une bonne qualité des olives et des huiles.

3. Besoins de l'olivier en éléments nutritifs, absorption et mode de transfert, symptômes de déficience et d'excès

De grandes quantités d'éléments nutritifs sont prélevées chaque année par l'olivier pour assurer diverses fonctions (croissance, développement, production, métabolisme…).
Les tailles de formation ou d'entretien, les productions et les chutes de feuilles et de fruits (dues à divers stress), éliminent de l'arbre une part des éléments absorbés. Ces éléments doivent être quantifiés et restitués annuellement à la plantation à travers un programme de fertilisation adéquat qui tient compte des facteurs suivants:

- Rendement estimé (évaluer les exportations par les fruits).
- Exportations des éléments nutritifs faites par le bois de taille (analyse foliaire et du bois).
- Fraction fixée par le sol (analyse de sol).

Le **Tableau 2** résume les besoins de l'olivier en éléments nutritifs, les modes d'absorption et de transfert et les symptômes de carence et d'excès.

Tableau 2a. Besoin de l'olivier en éléments nutritifs, absorption et transfert, symptômes de déficience et d'excès pour N, P, K et Ca

	Azote (N)	**Potassium (K)**	**Phosphore (P)**	**Calcium (Ca)**
Besoin	3-4 g N / kg olives Fortement consommé au cours des vagues de croissance.	4,5 g K / kg olives Fortement consommé au cours du développement des olives et en année de forte charge en fruits.	0,7 g P / kg olives Nécessaire en sols pauvres, en sols riches en $CaCO_3$ et en sols acides et dans les jeunes plantations (<10 ans) ou celles qui ont été longuement fertilisées en azote.	Nécessaire au cours des premiers stades de développement de la culture.
Forme absorbée Etat Transfert	-Sous forme de nitrates NO_3^- et d'ammonium NH_4^+	-Sous forme de K^+ -Très mobile dans la plante, prélevé par le bois, les feuilles et les fruits. -Peu mobile dans le sol et s'accumule en surface.	-Sous forme d'ions $H_2PO_4^-$ (sols acides) ou HPO_4^{2-} (sols alcalins) -Présent dans le sol sous forme inorganique en combinaison avec Fe, Al, Ca ou organique dans l'humus. -Précipite dans les sols alcalins sous forme de phosphate de calcium.	Sous forme de Ca^{2+}. -Sa présence dans les solutions nutritives minimise l'effet toxique de NH_4-N et augmente son absorption.
Symptômes de déficience	-Végétation chétive, plante rabougrie, croissance retardée. feuilles colorées en vert pâle, réduites en taille et en nombre, mourant prématurément. Réduction des niveaux de floraison, de nouaison et de la production et augmentation du nombre de fleurs imparfaites.	-Raccourcissement des entre-nœuds, jaunissement de la bordure des feuilles, nécrose. Enroulement du bord des feuilles et coloration bleue grisâtre. Augmentation de la transpiration des oliviers (Lechin de Granada), réduction de l'EUE (Chemlali de Sfax) et du % de fruits destinés à la conservation. -Déficience de K : liée à la baisse de l'humidité du sol, au taux élevé de calcium et à sa fixation au niveau des particules argileuses. Elle peut être vraie (manque de K) ou induite (antagonisme avec Mg ou Ca, excès de N).	-Croissance lente, plante rabougrie, faible formation de fruits, retard de la floraison et de la maturation, feuilles ou tiges violacées; extrémité des feuilles nécrosée. -La carence peut être vraie ou induite (pH élevé en sol calcaire, pH bas avec présence de Al, excès d'ions nitrate ou sulfate, excès de Zn ou d'autres métaux lourds, température du sol trop basse).	Chlorose des feuilles, veines blanchâtres, croissance réduite des points végétatifs (tiges et racines), feuilles anormalement foncées, ne parvenant pas à se déployer; chute prématurée des fleurs et des bourgeons, renouvellement des pousses freiné **(différence avec la déficience en bore).** -Ca atteint le seuil de déficience dans les sols acides.

Excès	-Un temps couvert et froid entraîne l'accumulation des nitrates dans la plante ce qui déprécie la qualité de l'huile, favorise le développement de pathogènes et accentue l'alternance de la production.	Consommation de luxe. L'excès de K limite l'absorption de N	P interagit avec K : lorsque la teneur en P dépasse la valeur critique, celle de K diminue.	- Freine l'absorption de K.
Photos : Symptômes de carence	**Photo 1** : Déficience en azote (COI, 2007).	**Photo 2** : Déficience en potassium (Fergusson et al., 1999).	**Photo 3** : Déficience en phosphore (chlorose étendue) (Haifa, 2016).	**Photo 4** : Déficience en Calcium (nervure blanchâtre) (Haifa, 2016).
Observations Recommandations	**L'efficience d'utilisation de l'azote** (EUN) est le rapport de la quantité de N absorbée par la plante/quantité totale appliquée. **EUN est comprise entre 25 et 50%.** Comme l'azote n'est pas totalement absorbé par l'arbre, il est recommandé de fractionner ses apports et de l'appliquer en partie au sol (fertigation) et en partie sur la frondaison (pulvérisation foliaire).	-Le potassium pose des problèmes de déficience dans les plantations à haut rendement. -Interagit avec N (même modalité de fixation) : après une production élevée, il faut apporter du potassium. Les quantités à appliquer doivent être déterminées en combinaison avec celles de N et fonction des teneurs du sol en Ca et Mg. **-L'efficience d'application de K** diffère selon la modalité de son apport.	-P interagit avec K -Les fortes teneurs du sol en HCO_3 augmentent la solubilité de P et son absorption. -P est sujet à la formation de précipités insolubles avec le calcium et au complexe argilo humique grâce au pont calcique -La proportion de P_2O_5 apportée ne doit pas dépasser 20-30% de celle de N. -N'appliquer P que lorsque la plante en a besoin (analyse foliaire) sinon risque de précipité ou d'antagonisme, ou de perte dans le sol	-La concentration de Ca dans les feuilles est affectée par la forme de N appliqué. -L'excès de Ca freine l'absorption de K.

Tableau 2b. Besoin de l'olivier en éléments nutritifs, absorption et transfert, symptômes de déficience et d'excès pour Mg, S, B et Zn

	Magnésium (Mg)	**Soufre (S)**	**Bore (B)**	**Zinc (Zn)**
Besoin	12 à 85 kg MgO / ha selon le rendement.		-80 à 200 g B / ha Mobilisé au cours de la floraison et du développement des fruits	-50 à 500 g Zn / ha.
Forme absorbée Etat et Transfert	-Sous forme de Mg^{2+} -Stimule le prélèvement de P et son transport.	-Déficient dans les sols acides	-Sous forme d'acide borique H_3BO_3. -Peu mobile des feuilles adultes vers les feuilles jeunes (comme Ca).	
Symptômes de carence	-Chlorose des feuilles qui commence en haut de la frondaison et se propage à toute la surface ; végétation chétive ; décoloration des feuilles âgées en sols sableux ou acides qui commence entre les nervures, aboutissant à la nécrose. -Carence en Mg est vraie ou induite par excès de K en condition de jour court ou sombre, par asphyxie racinaire ou par manque d'eau.	-Jaunissement des feuilles jeunes, plantes petites et faibles, croissance lente; maturation retardée, tiges rigides et cassantes.	-Apparaissent sur les jeunes feuilles en premier. Feuilles colorées en gris, distordues, fragiles et finissent par chuter, décoloration en marron de l'intérieur des tiges (nécrose du cambium), chlorose et dessèchement des apex, retard du développement végétatif, formation de rosettes, épaississement et craquement des rameaux, raccourcissement des entre-nœuds et développement de rejets à la base de l'arbre avec épaississement et enroulement des racines, branchements excessifs, stérilité des fleurs et coulure, mauvaise nouaison et croissance réduite des fruits. -S'installent à partir de 0,3 ppm dans le sol pendant la saison sèche. Les carences sont induites par le pH alcalin, un chaulage excessif, des rapports Ca/B et K/B élevés dans le sol, une faible luminosité et par la	-Faible allongement des pousses; formation réduite de bourgeons à fleurs, chlorose des feuilles (auréoles jaunes), plantes naines, port en rosette, mauvaise nouaison due à la perturbation du métabolisme du phosphore. -La carence s'observe dans les sols acides. La carence induite est due à un pH>7, ou sur-chaulage, à l'excès de P et par temps froid et humide.

			sécheresse. La majeure partie de B disponible est retenue par la fraction organique.	
Excès	Réduit l'absorption de K.		-Toxicité de l'arbre, même si l'olivier est tolérant au Bore (accepte une eau de 1-2mg/litre) Chlorose à nécrose des feuilles adultes, chute prématurée.	Lié à un travail superficiel de sol concentrant les fumures en surface ou/et un excès de fumure, pH trop acide.
Photos			**Photo 5** : Déficience en bore sur fruits 'Monkey face' et feuilles.	**Photo 6** : Déficience en zinc (Haifa, 2016)
Observations (confusion des symptômes concurrence) Recommandations	Mg stimule le prélèvement de P et son transport.		Les symptômes de carence en B peuvent se confondre avec ceux de la carence en Ca	Antagonisme Zn/P

Tableau 2c. Besoin de l'olivier en éléments nutritifs, absorption et transfert, symptômes de déficience et d'excès pour Fe, Mn, Cu, Cl et Na

	Fer (Fe)	**Manganèse (Mn)**	**Cuivre (Cu)**	**Chlore (Cl)**	**Sodium (Na)**
Besoin	300 à 2000 g de Fer / ha.	160 à 500 g Mn / ha selon les variétés, Les teneurs dans les feuilles se situent entre 16 et 150 ppm.	25 à 100 g Cu / ha.	Requis en très petites quantités, semblable au fer, la concentration normale est de 100 ppm.	
Forme absorbée Etat Transfert	-Fe^{++} -Présent dans le sol à des teneurs qui vont de 200 ppm à plus de 10%.	- Mn^{2+} par les racines -Les sols hydromorphes contiennent des concentrations élevées de Mn et Fe solubles.	Cu^{++}	-Amené par l'eau d'irrigation ou les engrais (chlorure de potassium et de calcium), -S'accumule dans les	-Na+, très mobile et chasse K+. L'augmentation de la salinité du sol entraîne l'accumulation de Na et

		-Mn est lessivable.		marges des feuilles, produisant des nécroses - L'utilisation d'eau chlorée (Ca/Cl <2) limite l'utilisation des engrais riches en chlorures	Cl dans les feuilles, les pousses et les racines des oliviers. diminuant la concentration de K et de Ca, mais la teneur en Mg n'est pas affectée par le stress salin
Symptômes de carence	-Les nervures des feuilles restent vertes, croissance réduite des pousses. - La déficience en Fe est observée dans les sols à pH élevé, en cas de déséquilibre entre Fe/Cu et Mn, ou sous une concentration élevée en P, une humidité de sol excessive, des températures trop basses, un niveau élevé du sol en HCO_3.	-Chlorose inter veineuse des feuilles matures, développement incomplet des bourgeons à fleurs et avortement, jaunissement des feuilles jeunes, apparition de spots nécrotiques. -Déficiences répandues dans les sols à pH élevé. Risque de carence si Mn<20 ppm. Elle peut être induite suite à un sur-chaulage du sol, une sécheresse excessive ou un pH trop bas du sol.	-Croissance rabougrie, feuilles déformées en rosettes, colorées en jaune- pâle. -La déficience Cu est observée dans le sol sableux et d'autant plus qu'il reçoit des applications excessives d'engrais phosphoreux. La carence induite est provoquée par l'alcalinité, l'excès de chaulage, l'excès de Mo, P et Zn.	Rare	
Excès		A lieu : pH<6, fumigation du sol, apports de compost, sol asphyxiant, mal drainant et riche en matière organique mal décomposée.	-Toxicité des arbres et des microorganismes, arrêt de croissance; jaunissement des feuilles; décoloration; flétrissement et nécrose de l'extrémité des feuilles.	-Nécrose des feuilles et de la pointe de la tige. Brûlure de la bordure des feuilles et leur chute (>50 mM NaCl)	-Entrave l'absorption des autres éléments, toxique si CE> 4dS/m, rabougrissement de l'arbre et réduction de la taille des fruits; flétrissement, nécrose.

Photos	**Photo 7.** Déficience en Fer. (COI, 2007)			
Observations Recommandations.	Fe entre en compétition avec P, Mg, Zn et K, ce qui peut induire une chlorose ferrique.		Les symptômes de carence en Cu se confondent avec la carence azotée.	Cl concurrence l'absorption du nitrate au profit de l'ammonium, Na chasse le potassium Na+ donne des déséquilibres avec K,

Sources : Benlloch et al., (1991), Fernández-Escobar et al., (1993); Delgado et al., (1994); Tsadilas et Chartzoulakis (1999) ; (Source sel : Al-Absi, Qrunfleh et Abu-Sharar, 2002) ; Benitez et al., (2002); Chatzissavvidis, (2002); Chatzissavvidis et Therios (2003); Parra et al., (2003) ; Chartzoulakis et Therios (2003) ; Chatzissavvidis et al., (2005) ; Van der Gulik et Tam, (2006) ; Fernández-Escobar et al., (2006) ; COI, (2007); Boussadia et al., (2008), Boussadia et al., (2008); Vossen (2009) ; Saidane et al., (2014).

Sources électroniques: http://www.summerlandolives.com.au; http://www.oliveoilsource.com;http://www.summerlandolives.com.au/ http://www.oliveoilsource.com,

Remarques

-Les symptômes de déficience peuvent induire des confusions (surtout entre N/P – Ca/B – B/Mn/Fe). Un bon diagnostic ne peut se faire qu'avec l'analyse des feuilles.

-Les déficiences en K, Fe et B sont souvent observées en sols calcaires.

-Les éléments majeurs atteignent rarement le seuil de toxicité.

-Les oligoéléments qui peuvent présenter des toxicités sont : le bore, le chlore, le cuivre, le manganèse et le zinc. Des métaux lourds peuvent être indirectement apportés dans le compost (plomb, mercure et chrome).

-Les déficiences en éléments traces sont souvent associées aux sols alcalins, ou calcaires où ces éléments sont retenus sous forme oxydée. L'abaissement du pH en ajoutant un élément sulfuré, qui est converti en forme acide par les microorganismes, peut résoudre ce problème (ce ne sont pas des produits acidifiants).

-Le fait que les argiles retiennent B plus efficacement que les sols sablonneux n'implique pas nécessairement une bonne absorption. Au contraire, les plantes prélèvent B beaucoup plus à partir des sols sableux. Concrètement ceci revient à utiliser des taux d'engrais B hydrosolubles plus bas en sol sableux que sur des sols à texture fine pour le même degré de prévision.

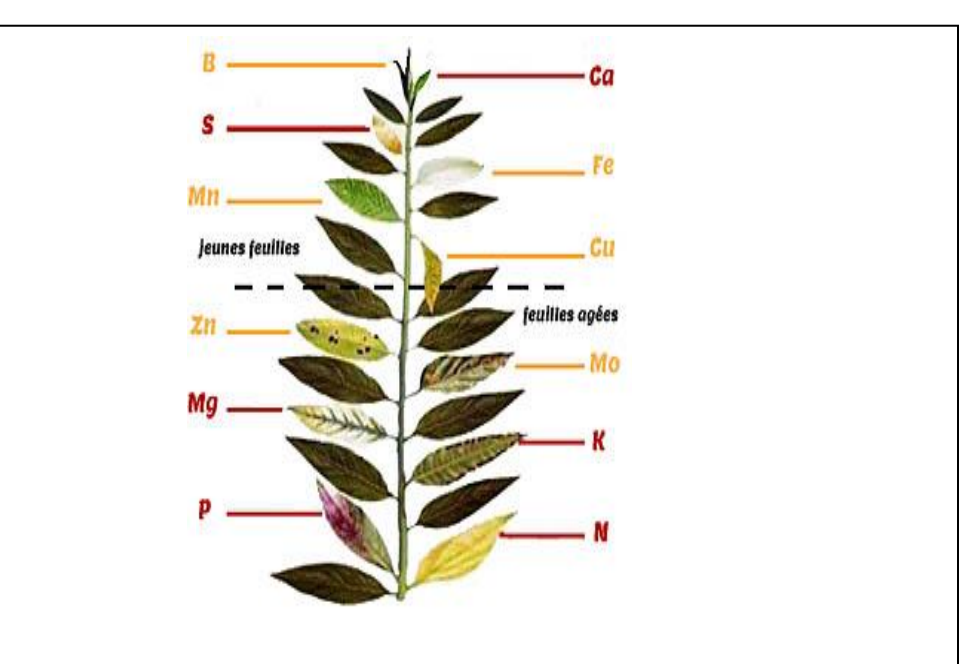


Figure 1. Symptômes de carence en éléments nutritifs (COI, 1997).

4. Facteurs de variation des éléments minéraux chez l'olivier

Les teneurs en éléments minéraux varient en fonction de la variété, du stade phénologique **(Tableau 3),** de l'âge des feuilles **(Figures 2 et 3)**, du matériel végétal considéré **(Tableaux 3 et 4),** et de la saison **(Perica et al., 1994 et 2001).** Les travaux de **Chatzistathis et al., (2004, 2005 et 2006)** ont montré que la variété Picual accumule moins de Mn que les variétés Manaki', 'Kalamon' et 'Koroneiki'.

Tableau 3. Variation des teneurs de N, P, K, Mg, B et Fe des feuilles chez les variétés 'Chondrolia Chalkidikis' et 'Amphissis' en fonction du stade phénologique, 30, 60, 90 et 120 jours après la pleine floraison.

	Jours après la pleine floraison	Chondrolia Chalkidikis	Amphissis
N (%MS)	30	1,22	0,93
	60	0,73	0,78
	90	0,83	0,76
	120	0,90	0,65
P (%MS)	30	0,15	0,11
	60	0,11	0,08
	90	0,10	0,11
	120	0,11	0,06
K (%MS)	30	0,94	0,65
	60	0,89	0,73
	90	1,71	1,18
	120	1,63	1,32
Mg (%MS)	30	0,09	0,06
	60	0,06	0,06
	90	0,07	0,05
	120	0,06	0,05
B (ppm)	30	47	52
	60	47	61
	90	96	84
	120	122	44
B (ppm)	30	56	58
	60	84	97
	90	18	27
	120	17	29

Source : Chatzissavvidis et al., (2004).

Les expérimentations menées dans la région de Sidi Bouzid **(Institut de l'Olivier, 2014)** ont montré que les teneurs en N et en P sont élevées avant le démarrage de la phase de croissance rapide des pousses. Des teneurs élevées en N sont aussi observées lorsque la fin de l'hiver est pluvieuse mais clémente. Ces conditions favorisent l'absorption des nitrates et leur accumulation dans les feuilles avant la vague de croissance du printemps. Lorsque l'hiver est sec, le phosphore s'accumule au niveau de la frondaison avant le démarrage des pousses. Un bois de taille riche en pousses donne des niveaux élevés en N mais pauvres en P.

Les teneurs de K au niveau des feuilles sont plus élevées en période de croissance active des pousses et surtout en année pluvieuse. Les valeurs sont plus faibles en année 'on'. Une charge élevée en olives implique une mobilisation importante de K dès le stade de différenciation florale (fin de l'hiver, en période de taille).

A l'échelle de l'année, les teneurs en bore diminuent dans les jeunes feuilles et dans les pousses au printemps et en été et augmentent en automne **(Figure 2)** aussi bien en année de forte charge en olives dite année 'on' qu'en année de faible charge en fruits appelée année 'off' **(Thérios, 2009).** Leurs baisses sont significatives après le stade de floraison; le minimum est observé au moment du durcissement du noyau. La période hivernale est caractérisée par des concentrations stables de N, P, K, Ca et Mg.

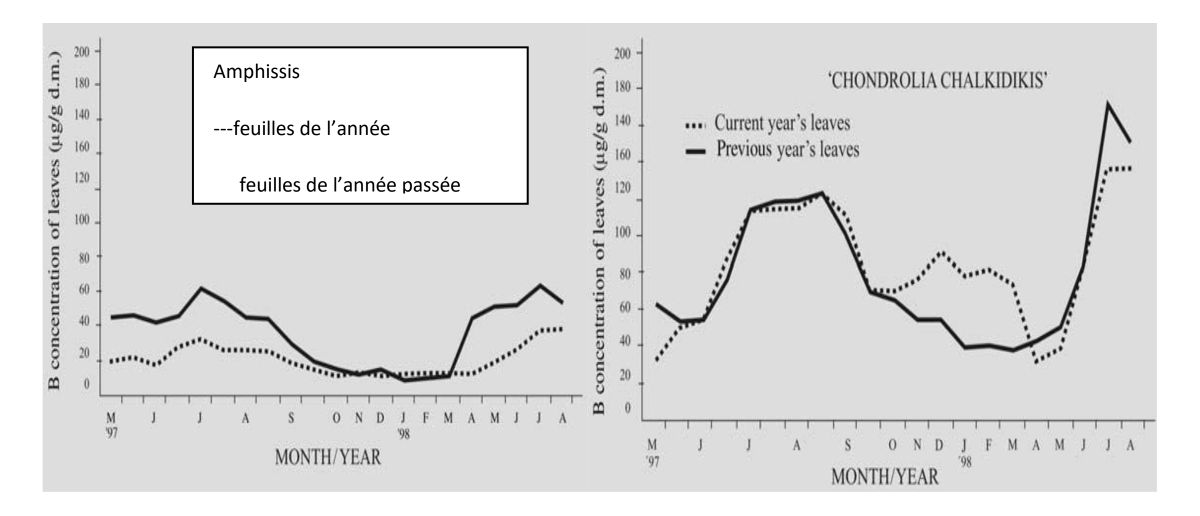


Figure 2. Variation saisonnière de la teneur des feuilles d'olivier cvs., 'Amphissis' et 'Chondrolia Chalkidikis' en bore durant deux campagnes successives (Chatzissavvidis et al., 2004 ; Haifa, 2016).

Organe : Les teneurs maximales de N sont observées dans les feuilles et particulièrement dans les plus jeunes parmi-elles **(Figure 3, Tableau 5).** Les concentrations en N varient également en fonction de la charge en olives. Elles sont plus ou moins constantes durant les années 'off' et diminuent au cours des années 'on' suite aux exportations massives faites par les fruits.

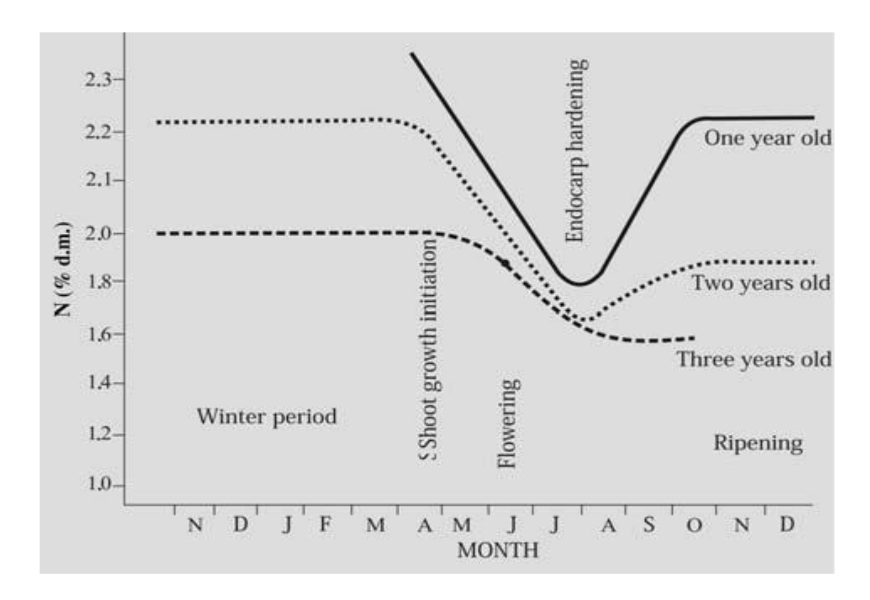


Figure 3. Evolution de la teneur des feuilles d'olivier en azote (%MS) selon leur âge au cours d'un cycle de croissance. Par ordre d'apparition dans la figure : Quiescence, pousse en croissance, floraison, sclérification de l'endocarpe, feuille d'un an, feuille de 2 ans, feuille de trois ans et stade de maturation (Braham, 1999).

Tableau 4. Concentrations en N, P et K (%) chez l'olivier en pleine production en fonction de la nature du matériel végétal. Les ratios N:P:K sont rapportés pour chaque organe.

	Eau %	N (%)	P (%)	K (%)	Ratio (N:P:K)
Racines secondaires	37,7	0,33	0,113	0,402	2,9 : 1 : 3,5
Racines primaires	45,5	0,37	0,123	0,477	3,0 : 1 : 3,8
Tronc	32,3	0,26	0,070	0,219	3,7 : 1 : 3,1
Branches principales	31,9	0,29	0,090	0,354	3,2 : 1 : 3,9
Branches secondaires	27,4	0,23	0,099	0,191	1,2 : 1 : 1,9
Pousses	40,3	0,64	0,179	1,000	3,5 : 1 : 5,5
Feuilles d'1 an	42,7	1,63	0,271	0,994	6,0 : 1 : 3,6
Feuilles de 2 ans	40,5	1,24	0,201	0,678	6,1 : 1 : 3,4
Fruits non mûrs	60,6	0,90	0,333	2,760	2,7 : 1 : 8,3
Fruits mûrs	46,1	0,97	0,397	3,220	2,4 : 1 : 8,1

Source : Therios (2009).

5. Normes

L'olivier puise dans le sol les éléments nutritifs (majeurs N, P et K, secondaires Ca, Mg et S et oligo-éléments Fe, Zn, Mn, Cu, B...) nécessaires pour subvenir à ses besoins. De fait de sa longévité, ses exportations présentent une masse considérable d'éléments minéraux, qu'il faut restituer à temps et en quantités adéquates. Pour ce faire, et dans le but de compléter l'analyse chimique au sol, l'oléiculteur fait recours au **diagnostic foliaire** (analyse minérale des feuilles), qui a été mise au point vers les années 50 **(Buchman et al., 1959 ; Cottenie et al., 1983 ; Freeman et al., 2005).**

L'analyse du sol permet d'évaluer la richesse du sol en éléments nutritifs (fertilité) mais elle ne fait qu'approcher leur disponibilité à la plante. L'interprétation du diagnostic foliaire est basée sur la comparaison des valeurs obtenues avec des **normes** qui sont établies après plusieurs années d'observations et qui intègrent les variations nutritionnelles dues aux facteurs influençant l'alimentation minérale.

5.1. Teneurs dans le sol et normes

5.1.1. Principe d'échantillonnage du sol pour analyse minérale

Les échantillons de sol sont prélevés dans différents emplacements et profondeurs en raison de la variabilité possible de sa composition. Les compartiments de sol à analyser doivent être différenciés selon la texture, la variété cultivée, la pente….

Principe : Subdiviser chaque compartiment en 5 unités parcellaires et y prélever à l'aide d'une tarière 1 à 3 échantillons de 0,5 kg de terre de chaque horizon (0-30 cm ; 30-60cm ; 60-90 cm). Sécher les échantillons à l'air libre et procéder aux analyses minérales au Laboratoire **(COI, 2007).** Il est généralement admis qu'une analyse de sol est suffisante pour 2 hectares de verger. Toutefois, en cas de forte hétérogénéité du sol sur une même parcelle, plusieurs analyses sont recommandées.

5.1.2. Méthodes d'analyse au laboratoire et interprétation des teneurs du sol en éléments minéraux

La méthode Kjeldahl est couramment utilisée pour le dosage de l'azote. La méthode d'Olsen est la plus utilisée pour le dosage du phosphore et convient pour la gamme de sols calcaires. Une teneur en P_2O_5 de 9 ppm est considérée comme faible pour l'olivier **(Tableau 5).**

La disponibilité du potassium, du calcium et du magnésium est liée à la capacité du sol à échanger ces cations (CEC), elle-même dépendante de la texture du sol. On doit tenir compte du rapport K/Mg car l'excès de potassium induit une déficience en magnésium. Ces éléments sont dosés par spectrophotométrie. Les teneurs moyennes sont portées au **Tableau 6.**

Les niveaux critiques de fer, de manganèse, de cuivre et de zinc sont portés au **Tableau 7.** Les ions sodium, chlore et bore causent la phytotoxicité de l'olivier même à des niveaux faibles de CE. Le **Tableau 8** rapporte les degrés de limitation de ces éléments en termes de salinité, de sodicité et d'excès pour le bore et le chlore.

Tableau 5. Guide des teneurs du sol en Phosphore (P_2O_5).

Echelle d'évaluation	Teneur en phosphore (Méthode d'Olsen, ppm)
Très élevé	> 25
Elevé	18-25
Moyen	10-17
Faible	5-9
Très faible	< 5

Source : FAO (1984).

Tableau 6. Guide des teneurs optimales du sol (ppm) en potassium (K), magnésium (Mg) et calcium (Ca) en fonction de sa texture.

Texture	CEC ($mmol_c$/kg)	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)
Grossière	< 5	30-60	10-25	200-500
Moyenne	5-15	100-175	40-80	1000-1600
Fine	> 15	150-300	60-120	2000-3000

Source : FAO (1984).

Tableau 7. Teneurs critiques du sol en micro-éléments extractibles (ppm).

Micro nutriment	Niveau critique (ppm)	Niveau suffisant
Fer (Fe)	3,0	50-150
Manganèse (Mn)	1,4	50-150
Cuivre (Cu)	0,2	5-20
Zinc (Zn)	0,8	10-30

Source : Para et al., (2003). Therios (2009).

Tableau 8. Degrés de limitation du sodium, du chlore et du bore.

	Degré de limitation		
Type de limitation	Faible	Modérée	Sévère
Salinité du sol CE (dS/m)	4	5	8
Pourcentage de sodium échangeable (%)	-	20-40	-
Toxicité du bore (ppm)	2	-	-
Toxicité du chlore (méq/l)	10-15	-	-

Source : Para et al., (2003).

5.2. Eléments minéraux dans la plante

5.2.1. Principe de l'analyse foliaire

Les concentrations en éléments nutritifs sont relativement stables en été. Les échantillons de feuilles sont donc prélevés en juillet, 5-8 semaines après la pleine floraison. Un échantillon de 2-4 feuilles/arbre (totalisant 100 feuilles/compartiment homogène) est considéré comme représentatif du compartiment. Les analyses portent sur des feuilles saines et matures, récoltées sur l'ensemble de la frondaison, au niveau de la partie apicale des jeunes pousses de 3-5 mois qui ont accompli leur expansion (sans fruits). Les rameaux vigoureux, chétifs et se trouvant à l'intérieur de la canopée ne sont pas pris en compte. Chaque type de feuilles (saine, malade, mature….) est analysé à part **(COI, 2007)**.

5.2.2. Interprétation des teneurs de la plante en éléments minéraux

La comparaison de l'analyse foliaire avec les normes pour l'olivier permet de diagnostiquer les déficiences, la suffisance ou l'excès **(Tableau 9). Les teneurs optimales d'éléments nutritifs dans les feuilles, définies pour la Méditerranée se situent aux alentours de 2%MS pour N ; 0,3% pour P ; 1% pour K et 1,4% pour Ca.** Pour l'azote, **Fernández-Escobar (2004)** recommandent une teneur de 1,5%, au-delà de laquelle le niveau de polyphenols dans les huiles et la qualité des **olives de table** diminuent **(Morales-Sillero et al., 2006)**.

Le seuil critique indique la teneur de la feuille en un élément donné, en deçà de laquelle la plante est en situation de carence en cet élément. Pour le sodium et le Chlore les valeurs toxiques se situent au-delà de 0,20% et 0,50% respectivement.

Tableau 9. Teneurs minimales, optimales et toxiques des éléments nutritifs au niveau des feuilles d'olivier (%MS ou ppm) analysées au mois de Juillet.

Elément nutritif	Déficient	Optimum	Toxique
Azote	< 1,4%	1,5 – 2,0%	> 2,55%
Phosphore	< 0,05%	0,1 – 0,3%	> 0,34%
Potassium	< 0,4%	0,8 – 1,0%	> 1,65%
Calcium	< 0,6%	1,0 – 1,43%	> 3,15%
Magnésium	< 0,08%	0,1 – 0,16%	> 0,69%
Soufre	< 0,02%	0,08 – 0,16%	> 0,32%
Fer (ppm)	< 40	90 – 124	> 460
Zinc (ppm)	< 8	10 - 24	> 84
Bore (ppm)	< 14	19 – 150	>185
Manganèse (ppm)	< 5	20 – 36	> 164
Cuivre (ppm)	< 1,5	4 - 9	> 78

Source : Connel et Vossen (2007).

6. Exportations des éléments minéraux

6.1. Définition

L'exportation d'un élément minéral est définie par la quantité de cet élément prélevé par les racines, de la solution du sol au cours d'une année **(Favreau, 1982).**

6.2. Facteurs de variation

A partir des teneurs moyennes de N, P, K et Ca et des productions de bois de taille et d'olives, les exportations en éléments minéraux sont évaluées. Leur niveau varie en fonction de la zone de culture comme le montre le **Tableau 10.** En Tunisie, les exportations en phosphore et en potassium sont plus élevées dans la région du Centre **(Braham, 1984).**

Tableau 10. Exportations de N, P_2O_5 et K_2O (g/arbre/année) chez l'olivier dans les principaux pays producteurs (g/arbre/année).

Pays	Source	N	P_2O_5	K_2O
Tunisie	Braham (1999)	578	67	502
France	Bouat (1968)	300	60	200
Espagne (Jaen)	Llamas (1983)	310	75	560
Italie	Pantanelli	276	142	488

Les exportations d'éléments majeurs d'une jeune oliveraie intensive (Mornag-Tunisie) ont varié durant les cinq premières années de culture de 9,2 kg/ha à 185,9 kg/ha pour l'azote, de 8,6 à 163,1 kg/ha pour le potassium et de 1,3 à 30,7 kg/ha pour le phosphore **(Masmoudi-Charfi et Ben Mechlia, 2009).** Pour une superficie de 1000 m^2 cultivée en oliviers en production, **Therios (2009)** rapporte des quantités annuelles d'azote, de phosphore, de potassium et de calcium, respectivement, de 1,5-3,5 kg, 0,8 kg, 1-5 kg et 2-5 kg. Par type d'organe, les quantités sont pour l'azote de 0,5 kg /100 kg de fruits, 1,0 kg/100kg de feuilles et 0,76 kg/100kg de bois. Pour le potassium, les valeurs sont respectivement pour les fruits, feuilles et bois de 0,95, 0,56 et 0,39 kg/100 kg. Les quantités prélevées pour 100 kg de fruits, 50 kg de feuilles et 50 kg de bois sont portées au **Tableau 11.** Le **Tableau 12** présente les quantités de nutriments (kg/ha) fournies par les antécédents culturaux, celles prélevées par l'arbre et celles exportées par la production de 5 tonnes d'olives / ha au niveau d'une oliveraie en production.

Tableau 11. Quantités de N, P, K et Ca (kg) nécessaires chaque année par une oliveraie pour la production de 100 kg de fruits, 50 kg de feuilles et 50 kg de bois.

	Fruits	Feuilles	Bois	Total
N	0,500	0,500	0,380	1,380
P	0,120	0,120	0,150	0,390
K	0,950	0,280	0,795	1,425
Ca	0,960	0,500	0,300	1,760

Source: Therios (2009)

Tableau 12. Nutriments (kg/ha) prélevés par la culture de l'olivier (pour une production de 5 tonnes d'olives /ha) et disponibles à partir des antécédents culturaux.

	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Disponible à partir des antécédents culturaux	8	2	14	3	3
Prélevé par la plante	78	19	98	53	25
Exporté par la production	40	7	60	15	4

Source: Haifa Chemicals website (2018).

Les figures 4 et 5 montrent l'évolution saisonnière des exportations en éléments majeurs dans différents organes chez l'olivier en production. Les niveaux maxima sont atteints entre

Juin et Juillet. Le **Tableau 13** montre que le potassium est l'élément le plus exporté, suivi de l'azote. Les exportations de K sont maintenues à des niveaux plus ou moins stables (31,4-35,1%) entre les stades de nouaison et de maturation alors que celles de N et de P ont varié respectivement de 28,5% (phase de durcissement du noyau) à 39,5% (Nouaison) et de 24,6 (phase de nouaison) à 38,9% (phase de durcissement du noyau), enregistrant une hausse plus importante durant les premiers stades de développement des olives.

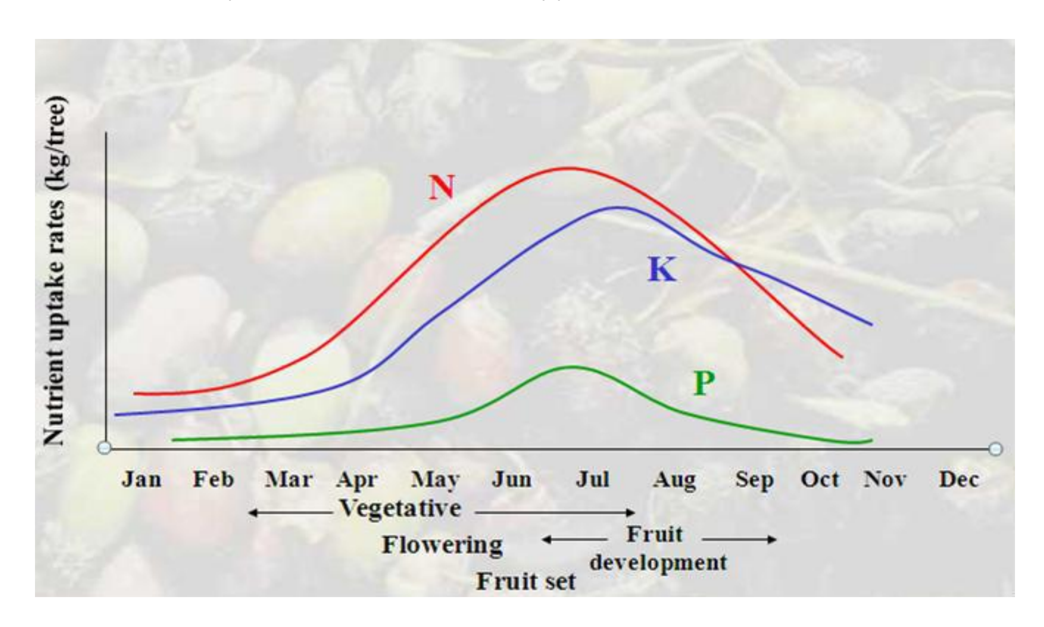


Figure 4. Evolution saisonnière des besoins en N, P, K (Kg/arbre) chez l'olivier au cours d'un cycle de croissance (Haifa, 2016).

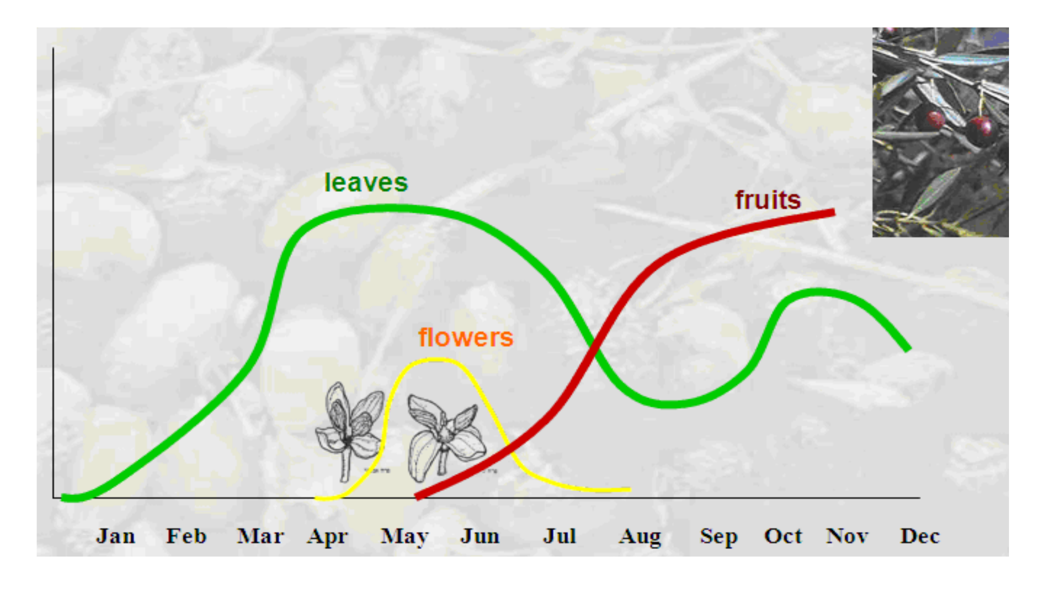


Figure 5. Evolution saisonnière des besoins en éléments nutritifs dans les différents organes de l'olivier (Haifa, 2016).

Retenons :
1Kg de fruits exporte 10 g d'azote alors qu'un 1Kg de feuilles exporte 15 g d'azote.
Une tonne de fruits exporte 9,8 kg de N, 11,3kg de P, 10,3 kg de K, (25,9 kg de P_2O_5 et 12,4 kg K_2O) (Source: Haifa 2016).

Tableau 13. Exportations de N, P et K (masse de l'élément en masse de fruit, %) au cours des stades de nouaison, durcissement du noyau et de maturation des olives.

	Nouaison	Durcissement du noyau	Maturation
N	39,5	28,5	32,0
P	24,6	38,9	36,5
K	33,5	31,4	35,1

Source: Therios (2009)

Le niveau des exportations varie en fonction de celui de la production, passant de 7 à 120 kg d'azote pour un rendement évoluant entre 0,7 et 10 T/ha **(Tableau 14; Boulal et al., 2013). Braham (1999)** obtient pour des rendements de 2300 kg ha^{-1} d'olives à Enfidha et 700 kg ha^{-1} à Kondar (localités du centre tunisien), des niveaux d'exportations de 7,0 kg d'azote, 1,7 kg de phosphore et 11,5 kg de potassium à Kondar et 15,6 kg d'azote, 4,2 kg de phosphore et de 30,0 kg de potassium à Enfidha (oliveraie irriguées). **Therios (2009)** obtient des valeurs respectives de 70-50-50 en pluvial et 84-60-60 kg/ha/année en irrigué pour N-P_2O_5-K_2O. Le **Tableau 15** présente les quantités d'éléments majeurs exportées en fonction du niveau de production d'olives. Le **Tableau 16** montre la variation des niveaux d'exportation en fonction de la densité de plantation.

Tableau 14. Exportations des macroéléments (kg/ha) selon le niveau de production Cas des oliveraies en Tunisie.

Rendement tonne/ha	N	P_2O_5	K_2O	Références
0,7	7	1,7	11,5	**Braham (1999)**
2,3	1115,6	114.2	30	**Braham (1999)**
10	120	40	160	**(Khélil et Sanaa, 2009)**

Source : Boulal et al., (2013).

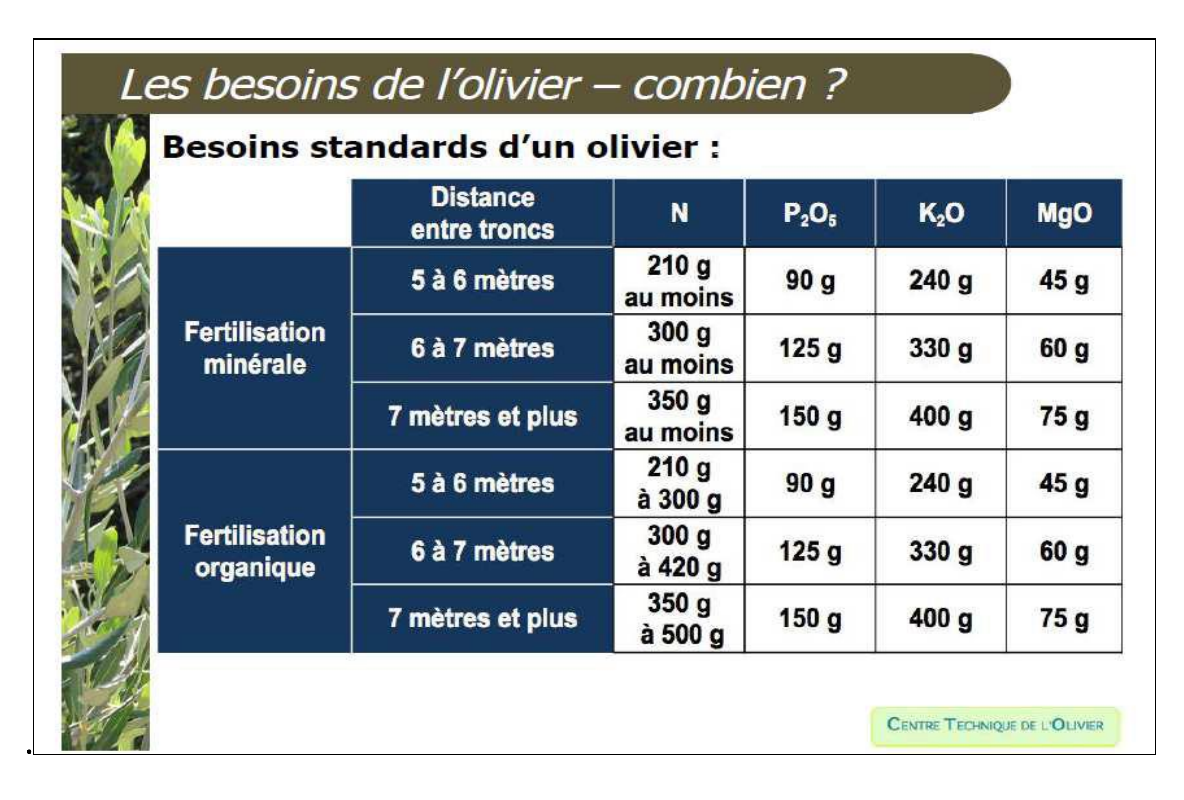
Tableau 15. Exportations de N, P, K et Mg (t/ha) en fonction du niveau de production**.**

Niveau de productivité des vergers (tonnes d'olives / ha)	Azote (N)	Phosphore (P_2O_5)	Potassium (K_2O)	Magnésium (MgO)
Verger assez productif (2-3t /ha)	30 à 50	15 à 25	50 à 60	15
Vergers productifs (3-5 t/ha)	50 à 60	20 à 30	60 à 70	20
Vergers très productifs (5-7t/ha)	60 à 70	25 à 40	70 à 80	25

Source: Therios, (2009).

Tableau 16. Variation des niveaux d'exportation des éléments majeurs (kg/ha) en fonction de la densité de plantation (Haifa, 2016).

Densité	Rendement		Exportation (kg/ha)		
Pieds/ha	kg/tree	T/ha	N	P_2O_5	K_2O
417	10	4,2	150	50	145
556	9	5,0	160	55	155
1250	6	7,5	170	60	165
1905	5	9,5	180	65	175


Les besoins de l'olivier – combien ?

Besoins standards d'un olivier :

	Distance entre troncs	N	P_2O_5	K_2O	MgO
Fertilisation minérale	5 à 6 mètres	210 g au moins	90 g	240 g	45 g
	6 à 7 mètres	300 g au moins	125 g	330 g	60 g
	7 mètres et plus	350 g au moins	150 g	400 g	75 g
Fertilisation organique	5 à 6 mètres	210 g à 300 g	90 g	240 g	45 g
	6 à 7 mètres	300 g à 420 g	125 g	330 g	60 g
	7 mètres et plus	350 g à 500 g	150 g	400 g	75 g

Centre Technique de l'Olivier

Figure 6. Besoins de l'olivier en éléments nutritifs N, P_2O_5, K_2O et Mg en fonction de l'écartement entre les arbres et de la nature de la fertilisation (minérale ou organique).

Sources : Le Verge S., et Zazzaron C., (2017). Centre Technique Olivier, AFIDOL.

NB : Valeurs présentées à titre d'exemple pour montrer la variabilité des teneurs en fonctions de plusieurs facteurs.



Photo 8. Urée.





LA FERTIGATION

1. Définition

Mhiri (1996) définit la fertigation comme étant une technique agricole d'intensification des cultures qui a pour objectifs :

- ✓ Augmenter les productions et assurer une haute qualité des produits récoltés,
- ✓ Optimiser les coûts économiques et écologiques,
- ✓ Satisfaire tous les besoins hydriques et nutritionnels des cultures en apportant simultanément l'eau et les éléments nutritifs selon leurs exigences spécifiques.
- ✓ Contrôler les pertes des engrais minéraux et mieux maitriser la salinité du sol induite par les apports excessifs d'engrais.

La fertigation est une technique de fertilisation économe, qui permet de corriger les carences en éléments nutritifs en temps réel. Elle consiste dans l'application d'engrais hydrosolubles à travers le système d'irrigation. Les apports sont adéquatement calculés et fractionnés dans le temps en rapport avec le besoin spécifique de chaque stade phénologique et la production escomptée. Les éléments minéraux apportés doivent être mis en équilibre les uns avec les autres interactions sont souvent observées entre N et P, P et Zn et K et Mg (**Bustan et al., 2013).** Ceci permet d'atteindre un équilibre ionique optimal au niveau de la rhizosphère et la réduction des coûts.

La fertigation se base sur le principe fondamental d'affranchir le plus possible la plante des contraintes édaphiques qu'elle rencontre en culture classique au niveau de son alimentation hydrique et sa nutrition minérale.

2. Avantages et limites de la fertigation

2.1. Principaux avantages de la fertigation

- ✓ Automatisable,
- ✓ Bonne efficience de l'utilisation de l'eau et des engrais
- ✓ Diminution du lessivage et amélioration de la fertilité du sol
- ✓ Contrôle de l'état ionique de la rhizosphère.
- ✓ Economie de main d'œuvre (application des engrais).
- ✓ Correction possible du pH du sol
- ✓ Eviter la toxicité.
- ✓ Elimination du colmatage au niveau des goutteurs (en utilisant l'acide phosphorique ou l'acide nitrique 0,5% HNO_3, qui apportent en plus le phosphore et l'azote).

La fertigation s'oppose à l'apport excessif d'engrais qui peut provoquer une dégradation de l'environnement et affecter la productivité et la qualité de l'huile d'olive. La fertigation

assure une nutrition équilibrée des plantes tout au long de la saison de croissance, garantissant la disponibilité des engrais en temps voulu.

2.2. Principales limites de la fertigation

- ✓ Nécessite une conception adéquate du système et une uniformité élevée de la distribution de l'eau (le coefficient d'uniformité d'un système goutte-à-goutte doit être de 90 % ou plus).
- ✓ Ne convient pas à tous les engrais, notamment ceux de faible solubilité. Certains engrais sont corrosifs et peuvent altérer le système d'irrigation.
- ✓ Nécessite l'emploi de dispositifs de sécurité (éviter le retour des engrais).
- ✓ Augmentation de la salinité du sol.
- ✓ Connaissance parfaite du mode de réglage de l'injecteur, des vannes d'isolement et des dispositifs anti-retour (compétence de l'opérateur).
- ✓ Un déséquilibre se crée entre les zones irriguées (bulbe humide) et celles qui se trouvent en dehors des frondaisons.
- ✓ Le coût des engrais solubles est nettement supérieur à celui des engrais conventionnels.

NB: La fertigation n'est pas recommandée en aspersion à cause des risques élevés de brulure des feuilles et l'apparition de maladies fongiques.

3. Schéma général d'un système d'irrigation fertilisante

Le système d'irrigation localisé est constitué par trois dispositifs pour **le fonctionnement**, **la distribution de l'eau et le contrôle**, permettant l'écoulement de l'eau de la station de tête vers la parcelle **(Phocaides, 2008).** La fertigation nécessite en plus du système d'irrigation, un dispositif composé d'un réservoir fertiliseur, un injecteur d'engrais ou d'une pompe doseuse, une valve de non-retour et un système de filtration branché sur le réseau d'eau, soit en dérivation, soit directement. L'installation peut être très simple, cas du tank fertiliseur, ou plus complexe avec gestion automatisée et centralisation de l'injection de l'engrais.

La **figure 7** présente le schéma général du système d'irrigation au niveau de la parcelle. Il est constitué de conduites enterrées (conduites principales) et de bornes de prise qui émergent à la surface du réseau. Ces bornes sont connectées aux 'adducteurs' qui, à leur tour, alimentent des conduites latérales posées le long des rangs de la culture et munies de distributeurs posés à des intervalles réguliers distribuant uniformément l'eau avec une pression donnée **(Masmoudi – Charfi et al., 2012).**

3.1. Ouvrage de tête

C'est l'unité de contrôle et de commande. Elle est constituée par une ligne d'alimentation de l'eau en PVC rigide ou en acier galvanisé fileté, installée horizontalement à une hauteur minimale de 60 cm au-dessus du sol. Elle est équipée d'un purgeur d'air, d'une valve de contrôle, d'une vanne de sectionnement, d'un injecteur d'engrais et d'une unité de filtration. On y trouve :

- **Le tableau de contrôle :** muni de compteurs horaire et métrique et d'un programmateur de fonctionnement automatique.
- **Le système de filtres :** à sable, à tamis ou à disques. Le filtre à sable est constitué par un empilement de matériaux plus ou moins fins (0,6-18 mm). Dans le cas d'une eau chargée, il est recommandé d'utiliser du gravier fin. Le filtre à tamis est généralement monté après le filtre à

sable et est utilisé pour filtrer une eau moins chargée. Le filtre à disques est utilisé pour des eaux d'une charge moyenne. Il est généralement associé à un filtre à tamis.
Les faibles sections de passage de l'eau dans les distributeurs imposent l'utilisation d'une eau propre. De ce fait, le niveau de filtration de l'eau va dépendre de son origine. Pour les eaux de surface (rivière, lac) il est recommandé d'utiliser des filtres à sable et à tamis. Pour les eaux provenant de nappes (puits ou forages), les filtres à tamis sont à privilégier.

Remarque : La station de filtration est un poste couteux qui s'amortit sur 3 à 4 ha au moins.

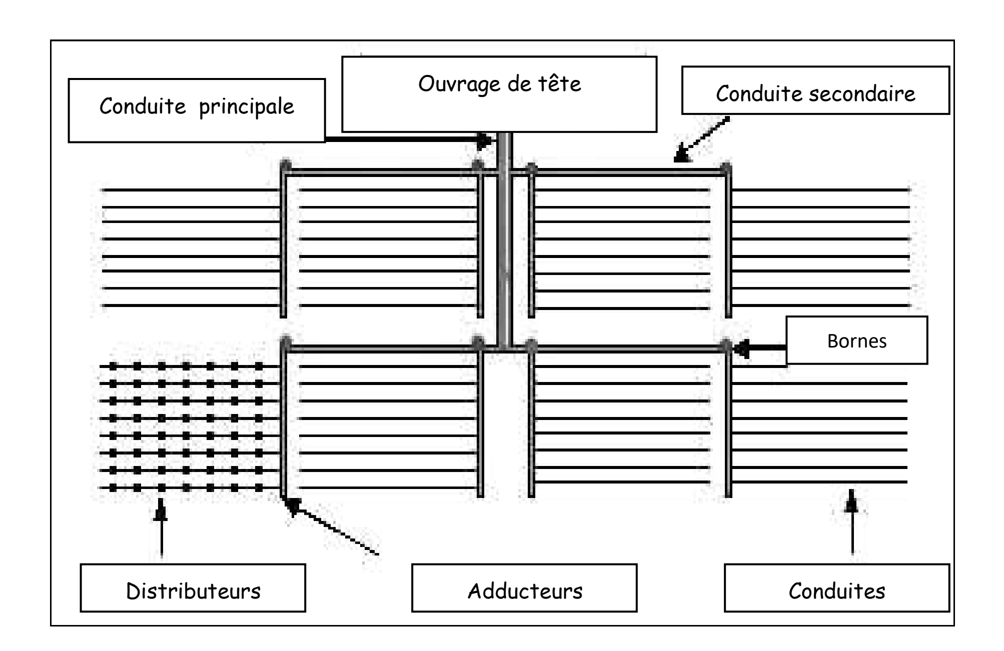


Figure 7. Représentation schématique d'un réseau d'irrigation localisée (Phocaides, 2008).

- **Mélangeur d'engrais :** C'est une cuve étanche (50 à 300 litres) dans laquelle sont solubilisés les engrais (solide mais soluble). Elle est montée en dérivation sur la conduite principale d'irrigation, à l'amont du filtre à tamis. La solution fertilisante ressort par le haut de la cuve et est injectée dans la conduite d'irrigation. Outre son usage pour la fertigation, ce système est utilisé pour nettoyer les conduites d'irrigation à travers l'injection de produits acides.
Le bac de préparation de la solution nutritive est surélevé. Il est muni d'un robinet monté à une dizaine de centimètres du fond du réservoir pour empêcher les précipités de passer au bac suivant. Un autre bac, récoltant le surnageant, doit être positionné au-dessous du premier ; on prendra soin pour faire passer le surnageant de la SN à travers un filtre à tamis très fin.
La pompe doseuse est un appareil qui aspire et refoule alternativement une quantité constante et connue de solution fertilisante dans la conduite d'irrigation. Le fonctionnement du dispositif nécessite une pression minimale de 2 bars **(Figure 8).**

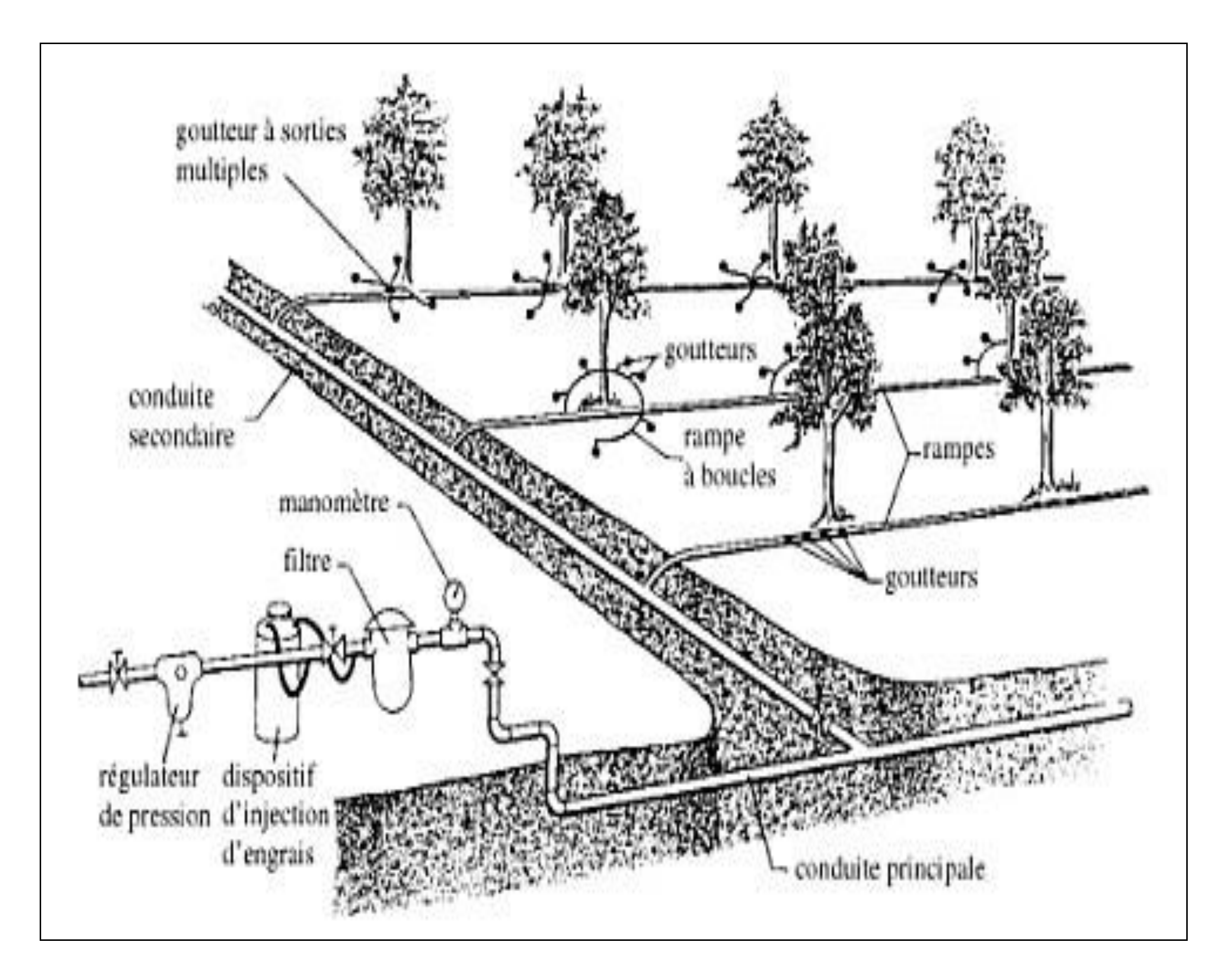


Figure 8. Représentation schématique d'un réseau d'irrigation localisée montrant l'installation du système d'injection des engrais (Phocaides, 2008).

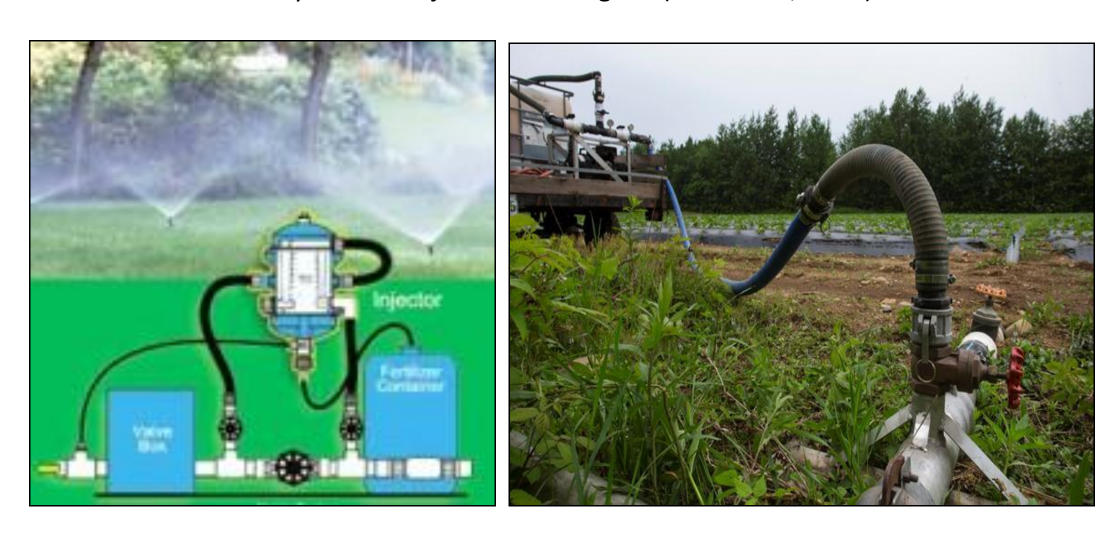


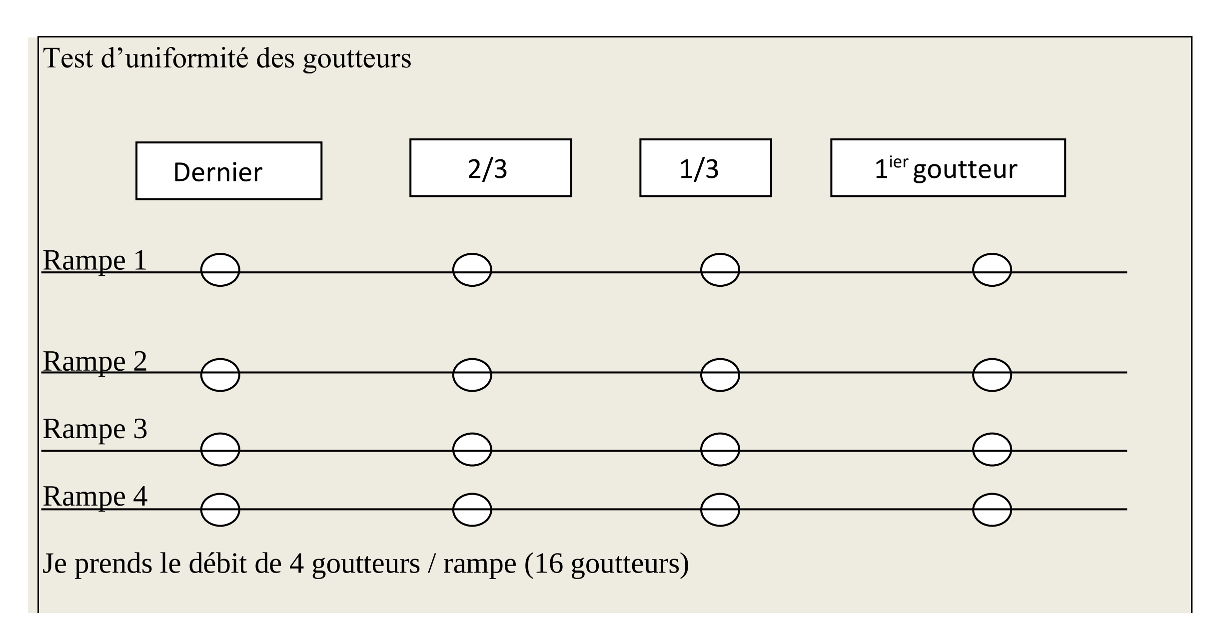
Photo 9. Matériel d'injection des engrais (Phocaides, 2008).

3.2. Conduites de distribution de l'eau vers le champ

Ce système est constitué par des canalisations primaires, secondaires, des rampes d'irrigation **(Figure 7)** et des bornes de distribution de l'eau. Les conduites primaires véhiculent l'eau de la station de pompage vers les conduites secondaires, qui à leur tour conduisent l'eau vers les rampes d'irrigation, encore appelées portes-distributeurs d'eau. On y trouve les :

- **Les conduites principales :** Elles sont généralement enterrées, de diamètre compris entre 63 et 160 mm selon la dimension de l'exploitation.
- Les conduites secondaires : sont branchées sur la conduite principale et sont de même type.
- **Les bornes de prise :** Elles sont branchées sur les conduites principales ou secondaires en amont de la parcelle et permettent la sectorisation de l'irrigation (équipées d'une vanne de sectionnement). Elles fournissent une partie ou la totalité de l'écoulement aux adducteurs.
Les conduites sont fabriquées en polyéthylène basse et haute pression ou en polypropylène. Ce dernier est utilisé pour les conduites de faible diamètre.
- **Les adducteurs** (conduites d'alimentation)**:** ce sont des conduites de diamètre compris entre 50 mm et 75 mm qui sont connectées aux bornes et posées généralement en surface le long des limites de la parcelle pour alimenter les conduites latérales. Tous les types de matériaux à conduites disponibles peuvent convenir.
- Les conduites latérales ou rampes d'irrigation: ce sont des tuyaux d'irrigation en polyéthylène noir flexible, placés à des endroits fixes, le long des lignes de culture et perpendiculairement aux adducteurs. Longueur maximale souhaitée de 100m.
- **Les distributeurs de l'eau** : sont insérés dans les rampes à intervalles réguliers. L'eau y entre avec une pression de 1 bar et en ressort sous pression.
*faible débit (1 à 8 l/h): ce sont des goutteurs simples, extensibles ou auto-régulants.
*débit élevé (20 à 60 l/h), l'eau y passe sous forme de jet (mini-diffuseurs ou ajutages calibrés).

Le coefficient d'uniformité de distribution de l'eau *est un indicateur de performance fiable à travers lequel on cherche autant que possible l'équité d'application de l'eau* ***(Zayani, 1996).*** *Il est défini pour l'eau 'pure' par* $\mathbf{CU\ (\%) = Q_{min}/Q_{moy}}$ *où* Q_{min} *est la lame d'eau moyenne infiltrée sur le quart de l'unité d'arrosage le moins desservi en eau et* Q_{moy} *est la lame d'eau moyenne infiltrée sur toute la surface irriguée.*
Cependant, comme en fertigation, l'uniformité de distribution des engrais est liée à celle de l'eau, on étendra cette notion à l'eau enrichie en fertilisants quoique la masse volumique et la viscosité de l'eau changent en fonction de la concentration de la solution nutritive, et ce en absence de résultats expérimentaux.
Pour mesurer le coefficient d'uniformité, on installe un récipient sous le goutteur qui sera contrôlé pendant un temps donné mesuré par un chronomètre. Le goutteur débite une quantité d'eau mesurée par éprouvette. Ainsi connaissant le volume d'eau délivré dans un temps donné on détermine le débit d'un goutteur (l/h).
Les goutteurs qui seront contrôlés sont pris au moins sur 4 rampes : la première, la dernière, celles situées au 1/3 et au 2/3 de la longueur du porte rampe.



CU = Q_{min} / Q_{moy} des 16 goutteurs
Q est la moyenne des 4 valeurs les plus faibles (au niveau de chaque rang de goutteur : premier- au 1/3 – au 2/3 – le dernier).

CU > 90 : Bonne uniformité
CU < : 70 chercher les causes
CU compris entre 70 et 90 : nettoyer le réseau.
-Colmatage physique : purger in situ sinon démonter et nettoyer le réseau.
-Colmatage chimique : nettoyer à l'acide nitrique ou phosphorique à 2-5 pour mille
-Colmatage organique : nettoyer à l'eau de javel : 1-5 mg/l eau

CU = (La moyenne de 4 débits min/ La moyenne de 16 débits)*100

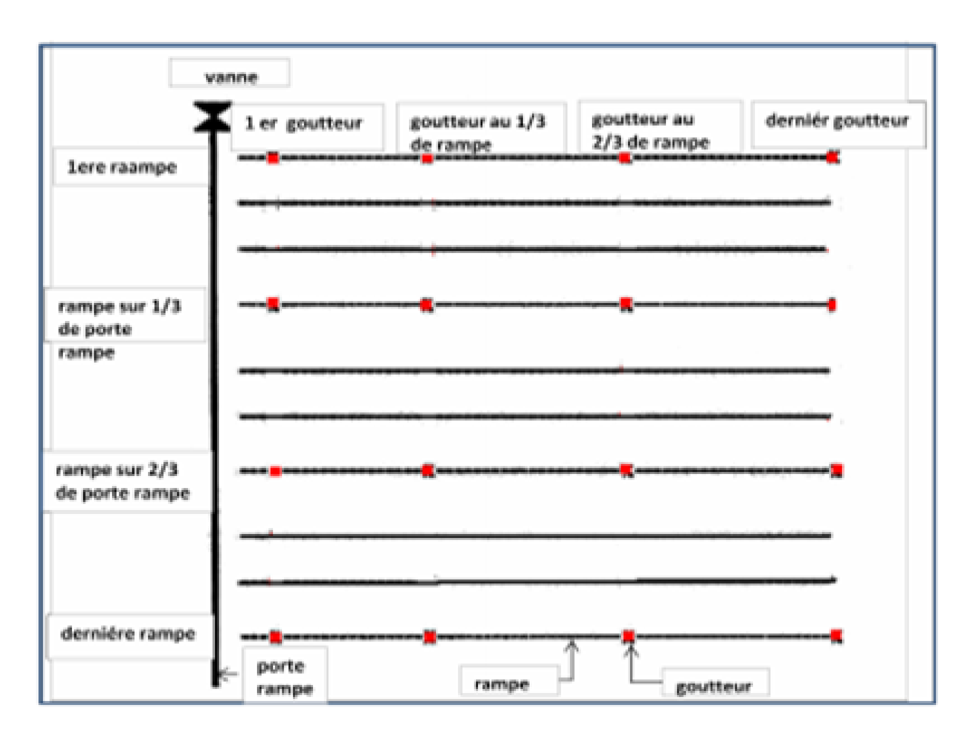


Figure 9. Détermination de l'uniformité de distribution de l'eau fertilisée (Zayani, 1996 ; CEMAGREF, 1990).

3.3. Matériel utilisé pour l'injection des éléments minéraux

L'injection se fait par un matériel d'injection qui peut être un dilueur, une pompe doseuse ou un injecteur Venturi **(Papadopoulos, 1996).**

-Le dilueur (fermé)
C'est un réservoir étanche et résistant à la pression du système. Il est monté en dérivation sur la conduite d'alimentation de l'ouvrage de tête, à l'amont du filtre à tamis. Il est réglé par la pression différentielle créée par une vanne partiellement fermée, placée sur la conduite entre l'entrée et la sortie du réservoir. Une partie du débit est dirigée vers la conduite d'entrée du réservoir, où il se mélange avec la solution de fertilisants, puis la dilution est injectée dans le système. <u>Les taux de dilution et d'injection ne sont pas constants</u>. La solution fertilisante sort

du haut du réservoir, qui doit être rincé après chaque opération. Ce dispositif a un faible coût, et sa fabrication est aisée.

-L'injecteur Venturi

Cet injecteur fonctionne grâce à une différence de pression entre l'entrée et la sortie de l'injecteur. Il est installé sur une dérivation placée sur une cuve ouverte contenant la solution de fertilisant. Le taux d'injection varie avec les variations de pression. Les pertes de charge dues à la friction sont d'environ 1 bar. Les injecteurs sont en plastique avec des taux d'injection qui varient de 40 à 2000 litres/heure. Le dispositif n'est pas couteux et facile à installer. Cependant, la variation du taux d'injection peut compromettre l'uniformité de distribution des engrais surtout si la solution fertilisante va desservir plusieurs secteurs. Dans ce cas, il est nécessaire de déterminer la durée d'un poste pour atteindre l'uniformité de distribution escomptée à partir de l'équation suivante : l'équation de dilution de Bresler est :

$$C(t) = Co\ (Q_2/Q_1)\ \exp^{(-(Q2/V)t)}$$

$$\text{ce qui donne } t = (V/Q_2)\ Ln\ ((Co/C).\ (Q_2/Q_1))$$

avec:
C(t) : concentration dans le réservoir à l'instant t (h) en kg/m^3
V : volume du réservoir (m^3)
Q_1 et Q_2 (m^3/h) : Débits entrée et sortie du réservoir.
C_o et C_t : les concentrations initiale et à l'instant t dans la cuve.

-La pompe doseuse

La pompe est activée par la pression de l'eau dans le système et peut être directement installée en ligne. L'écoulement de l'eau dans le système active des pistons qui permettent à la pompe d'injecter la solution d'engrais stockée dans une cuve (ouverte) dans l'eau d'irrigation, tout en maintenant un taux d'injection constant. Ces injecteurs sont plus chers que les injecteurs Venturi et fabriqués de matière plastique résistante et durable. Les pompes peuvent être électriques ou hydrauliques ou électromagnétiques à commande électronique.

4. Les engrais utilisés en fertigation

4.1. Définitions

La **solution mère** est la solution fertilisante ou solution nutritive qui sera injectée. La **solution fille** est l'eau d'irrigation fertilisée. La solution mère doit avoir un pH acide variant entre 5 et 6. L'acidité produite par diverses formes d'azote varie selon le type d'engrais, l'eau d'irrigation et le type de sol. Une vérification du pH du sol doit se faire au début et à la fin de la saison d'irrigation.

La concentration de la solution mère est définie par la masse d'engrais dissoute (g) par unité de volume de la solution mère (litre).

Le taux d'injection (litre/m^3) est défini par le rapport de débit de la pompe doseuse (l/h) par le débit de la conduite d'irrigation (m^3/h).

La salinité de l'eau d'irrigation fertilisée est le produit de la concentration de la solution mère et du taux d'injection (l/m^3 ou pour mille). Il est recommandé de veiller à ce que la salinité reste inférieure à 4g/litre. L'irrigation fertilisante est déconseillée lorsque la conductivité électrique de l'eau dépasse 3 dS/m.

4.2. Formulation des engrais

Les engrais sont formulés en fonction de leur richesse en Azote (% N), en phosphore (% P_2O_5), en potasse (% K_2O) et en magnésie (%MgO). A titre d'exemple un engrais dosé 8-4-12 apporte 8% d'azote, 4% de P_2O_5 et 12% de K_2O; 100 Kg de cet engrais procure 8 kg d'azote, 4 kg de P_2O_5 et 12 Kg de K_2O.

4.3. Types et formes d'engrais

Les engrais utilisés en fertigation et leurs caractéristiques sont portés au **Tableau 17.** Le choix des engrais à utiliser dépend de la dynamique des éléments minéraux qui le constituent, de la forme sous laquelle il est présenté (NO_3^- et NH_4^+ pour N, $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-} pour P), de sa solubilité, du prix et de sa compatibilité avec d'autres engrais, sachant que l'excès d'un élément risque de bloquer un autre élément, qui devient alors peu disponible à la plante malgré sa présence dans le sol (cas de l'antagonisme K/Mg et K/Ca). Ce blocage peut être direct ou induit, par exemple par une augmentation du pH. Il est impératif de choisir des engrais hydrosolubles (solides ou liquides), compatibles et qui n'inter-réagissent pas.

Exemple

La fertigation ammoniacale fait augmenter la concentration en ions hydroxydes dans l'eau. Il s'en suit une augmentation du pH, avec une précipitation possible du calcium et du magnésium qui risque de colmater les distributeurs et les canalisations **(Zayani, 1996).**

Remarques

- Le nitrate de potassium (13-0-46) a une faible solubilité avec un ratio 1:8 (1 kg d'engrais sec dans 8 litres d'eau).
- La solubilité du chlorure de potassium (0-0-62) est de 1:3, tandis que celle du nitrate d'ammonium (34-0-0) et du nitrate de calcium (15,5-0-0) est d'environ 1:1.
-Les engrais secs phosphoreux ont une plus faible solubilité que les nitrates, soit environ 1:2,5.

4.3.1. Les engrais azotés

Les engrais azotés et potassiques ne posent généralement pas de problèmes d'injection. L'urée, le nitrate d'ammonium et le nitrate de potasse sont les engrais les plus utilisés **(Sánchez-Zamora et Fernández-Escobar R., 2002 ; Morales-Sillero et al., 2007).** Sont aussi

utilisés le Mono-phosphate d'ammonium et le Di-ammonium phosphate. L'ammonium se fixe sur les particules du sol, mais il présente l'avantage de se convertir facilement en nitrate, qui est très mobile et facilement absorbé par les racines. Les apports azotés sont d'autant plus bénéfiques qu'ils sont fractionnés.

Pour avoir une bonne efficacité de l'engrais azoté, il est nécessaire d'adapter la forme d'azote utilisée à la période d'épandage. Les engrais riches en nitrate sont à employer en avril lorsque l'olivier est en pleine végétation. On évitera aussi les lessivages par la pluie. L'azote ammoniacal et l'urée sont à privilégier à la sortie de l'hiver ; ils seront assimilés après transformation par la faune microbienne du sol. En fertigation, il est conseillé d'appliquer 25% de la quantité annuelle d'azote après la nouaison pour favoriser la production de l'année suivante **(Haifa, 2016).**

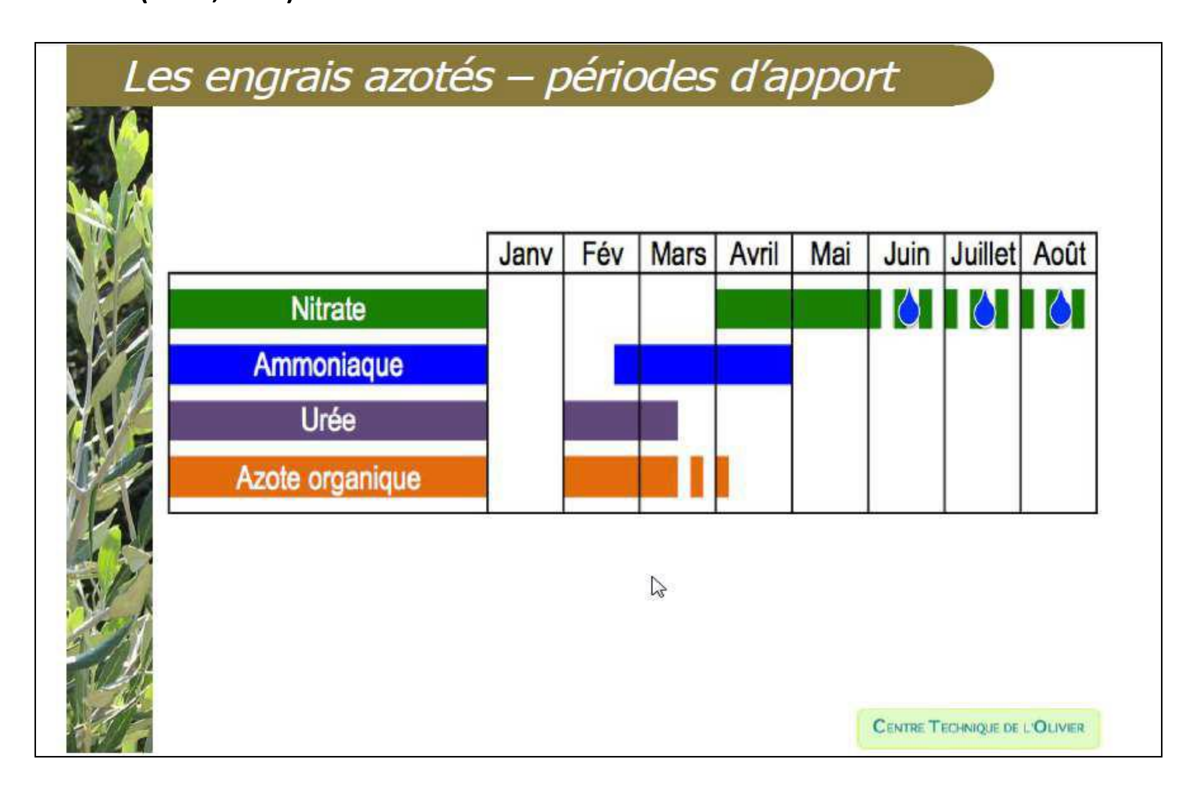


Figure 10. Choix de l'engrais en fonction du stade phénologique (Le verge, 2017).

NB : L'ammoniaque c'est $NH_4^+OH^-$ n'est pas utilisée. La forme ici dans ce tableau en bleu c'est l'ammonium NH_4^+

Remarque :
La figure 10 est élaborée pour les pays nord-méditerranée. Il faut donc prévoir un décalage des stades de 2-3 semaines vers le début de l'année pour l'Afrique du Nord.

4.3.2. Les engrais phosphatés

En fertigation on utilise le mono-phosphate d'ammonium MAP (12% N et 61% P_2O_5), le di-ammonium phosphate DAP (21-53-0) et le mono-potassium phosphate (0-34-52). Le ratio P:N doit être égal à 1:3. Si le phosphore est apporté sous forme de MAP, une grande partie de N doit être fournie sous forme nitrique (le MAP apporte de l'NH_4^+N). Lorsque l'eau est dure (calcaire), le phosphore peut précipiter, dans ce cas on peut utiliser l'acide sulfurique pour le solubiliser ou du MAP (engrais phosphaté acidifiant).

Tableau 17. Principaux engrais utilisés en fertigation, leurs formules chimiques, leur composition en éléments minéraux (en % du poids) et leur effet sur le pH du sol.

Engrais	Formule chimique	N (%)	%P_2O_5	%K_2O	%CaO	%S	Effet sur pH	Solubilité (g/l 25°)
Engrais azotés								
Urée	$CO(NH_2)_2$	46					-	119
Nitrate d'ammonium	NH_4NO_3	33,5					-	1190
Nitrate de calcium	$Ca(NO_3)_2$	16			34		++	2190
Nitrate de potassium	KNO_3	13		46	0,5	0,2	++	335
Nitrate de magnésium		11						2600
Sulfate d'ammonium	$(NH4)_2SO_4$	21				24	---	760
Acide nitrique	HNO_3	12,6						Liquide
Engrais potassiques								
Chlorure de potasse*	KCl			60			=	350
Sulfate de potassium	K_2SO_4			48-50			=	125
Engrais phosphatés								
Acide phosphorique			52					Liquide
Mono-ammonium phosphate (MAP)	$NH_4H_2PO_4$	12	61		2	1à3	---	280
Di-ammonium phosphate (DAP)		24	60					400
Super phosphate simple (SPS)	-		18		18-21	12	=	
Acides composés								
4-8-12		4	8	12				Liquide
12-4-6		12	4	6				Liquide
6-8-8		6	8	8				Liquide

Papadopoulos (1996)

Remarque : Le MAP, le nitrate de potassium et le nitrate de calcium sont des engrais composés.

* Précaution : peut causer la toxicité par accumulation du chlore.

NB : 1 unité d'azote correspond à un 1 kg d'azote à l'hectare. 1U = 1kg/ha

4.3.3. Les engrais potassiques

Le nitrate de potasse, le sulfate de potasse et le mono-potassium phosphate (0-34-52) sont les engrais potassiques les plus utilisées en fertigation **(Ben Mimoun et al., 2004)**. Le Nitrate de Potasse (13-0-46) est très soluble. Il apporte l'azote sous forme de nitrate, qui a un pouvoir nutritif élevé à tous les stades de développement de l'olivier. Cependant sa présence fait augmenter le pH du sol. Le Sulfate de Potasse (0-0-50) a par contre une faible solubilité. Le Phosphate mono-potassique (0-32-54) est très soluble, apportant une grande quantité de phosphate et a un pouvoir nutritif élevé à tous les stades. Le Chlorure de potassium (0-0-60) peut conduire à une toxicité en chlorure par son accumulation dans la zone des racines si les chlorures n'ont pas pu être lixiviés faute de quantité suffisante d'eau.

Dans les plantations qui n'ont pas été amendées en potassium, il est nécessaire d'appliquer deux fois plus de K que de N. Si l'eau d'irrigation est riche en Ca et Mg, une majoration des apports potassiques est nécessaire. Des quantités adéquates de K augmenteraient la tolérance de l'olivier à la sécheresse **(Restrepo et al., 2002).**

4.3.4. Les engrais calciques

Le nitrate de calcium (15.5-0-0-26.5) est un fertilisant très soluble qui peut être utilisé en fertigation. Une application de 5–10 kg CaO/arbre, permet d'éviter les déficiences, à condition que le pH soit convenable pour éviter sa précipitation.

4.3.5. Les engrais soufrés

Le soufre peut être fourni sous forme de sulfate d'ammonium ou de sulfate de potassium. Les engrais soufrés réduisent le pH du sol.

4.3.6. Les engrais magnésiques

Si l'eau d'irrigation est riche en sulfate, il est préférable d'apporter Mg sous forme de nitrate de magnésie.

La minéralisation des engrais dépend de l'activité microbienne du sol. C'est pourquoi il est recommandé 'd'incorporer' les engrais de manière superficielle et de stimuler l'activité microbienne du sol par des apports réguliers de matière végétale (compost pas trop mûr, broyat de bois de taille, engrais vert, fumier pailleux).

L'apport d'engrais doit être suffisamment anticipé pour que les éléments nutritifs soient libérés aux périodes requises. L'olivier assimilera un engrais minéral s'il est solubilisé. L'efficacité des engrais organiques dépend de l'état hydrique du sol. Les apports précoces, à la sortie d'hiver, permettent de libérer les éléments nutritifs au printemps. Les engrais organiques à libération rapide peuvent être épandus après la seconde quinzaine de mars. La régularité des apports optimise le rendement et la qualité des olives et de l'huile.

Les éléments nutritifs sont assimilés à des pH préférentiels **(Tableau 18).** Le pH optimal est compris entre 6,3 et 7,2. La rectification du pH évite les précipités de phosphate de calcium, de sulfate de calcium, de carbonate de calcium et de magnésium, qui obstruent les orifices des goutteurs. En sols à pH acides (pH < 7), l'emploi des engrais acidifiants (azote ammoniacal, urée) doit être limité au risque d'accroître la décalcification du sol. Dans ces sols, et pour la fumure phosphatée, les engrais riches en calcium sont préférables comme le phosphate naturel. Le recours à un amendement calcique est indispensable si le pH < 6. En sols à pH basique (pH > 7), les engrais organiques ou les engrais minéraux solubles sont à privilégier. En sol à pH très alcalin (pH > 8), les engrais organiques à action acidifiante sont à préférer ainsi que les engrais minéraux acidifiants comme le superphosphate, le phosphate d'ammoniaque, l'azote ammoniacal, l'urée... Le pH peut être baissé en apportant l'azote sous forme de $(NH_4)_2SO_4$.

Tableau 18. PH préférentiels pour l'assimilation des éléments nutritifs chez l'olivier.

Elément nutritif	pH préférentiel d'assimilation
Azote	6-8
Acide phosphorique	6,25-7
Potasse et soufre	6-8,5
Calcium et Magnésium	7-8,5
Fer et Manganèse	4,5-6
Bore, Cuivre et Zinc	5-7
Molybdène	7-8,5

Source : file:///C:/Users/hp/Desktop/FERTIGATION/Les engrais en oléiculture.html.

La quantité d'engrais à appliquer est répartie tout au long du cycle de croissance en fonction des besoins spécifiques de chaque stade phénologique. Il est primordial de comptabiliser à chaque étape les quantités de nutriments et de sels naturellement présents dans l'eau d'irrigation et celles du sol.

5. Efficience d'utilisation des engrais

L'efficience d'utilisation des engrais (EUEn) est tributaire du régime hydrique adopté étant donné que la mobilité des engrais est largement conditionnée par l'état hydrique du sol et de la plante **(Zayani, 1996).** Une eau qui percole emporte avec elle des nutriments : c'est le lessivage. L'urée et les nitrates suivent la migration de l'eau dans le sol, ce qui les rend hautement vulnérables aux pertes par percolation. Par ailleurs, l'ammonium est souvent fixé dès qu'il est en contact avec des particules argileuses qui ont une forte capacité d'échange cationique, rendant difficile son absorption par les racines. Ceci engendre 'la perte' de ces nutriments et la baisse de l'EUEn. De plus, certains éléments comme l'ammonium sont sujets à des pertes par volatilisation lorsqu'ils sont présents au voisinage de la surface du sol (en zones arides et semi-arides) et d'autant plus que la température s'élève. Ces pertes sont importantes en irrigation par aspersion et atténuées en fertigation localisée. Des essais de traçage isotopique ont montré que seulement 50-70% de l'azote appliqué est utilisé, le reste étant volatilisé, lessivé ou dénitrifié **(Zayani, 1996).**
Un réseau d'irrigation bien dimensionné et une conduite d'arrosage bien raisonnée, réduisent ces pertes et engendrent une uniformité de distribution adéquate de l'eau et des fertilisants.

Recommandations :
- Fractionner les apports autant que possible pour réduire les lessivages,
-Apporter aux stades phénologiques où les besoins sont les plus élevés (prélèvement rapide des engrais),
-Adopter le pH adéquat (correction) pour solubiliser les engrais et éviter les précipitations
-Ne pas associer les engrais qui précipitent et nettoyer les conduites à la fin de chaque saison.
-Utiliser l'irrigation localisée pulsée qui consiste à appliquer l'eau par intermittence ce qui permet une meilleure aération du sol (arrêt de l'application de l'eau fertilisée) et d'atteindre un bulbe d'humidification plus large (au moins de 33%) que ceux observés en irrigation continue (bien choisir l'écart entre goutteurs et celui séparant les rampes afin d'avoir une couverture maximale).
-Tester l'uniformité au moins une fois par saison et contrôler les fuites.

6. Elaboration d'un programme de fertigation

La fertigation azotée et potassique est facile à conduire dans la majorité des cas en raison de la mobilité des éléments N et K et de la solubilité des engrais azotés et potassiques. Cependant, si le potassium est adsorbé au sol, ce qui rend son lessivage plus difficile, l'azote est facilement lixivié. C'est pourquoi, **les besoins en P et en K s'expriment après que les besoins en azote soient satisfaits**. La fertigation phosphatée est plus difficile à mener vus les risques de précipitation en sols ayant des teneurs élevées en calcium et en magnésium ou irrigués avec des eaux riches en Ca et Mg, pouvant aboutir à un colmatage des conduites et des goutteurs.
L'établissement d'un programme de fertigation doit tenir compte de ces faits. Elle se fait sur la base des quantités de minéraux exportés annuellement **(Xiloyannis, 2002 ; Gargouri et Mhiri, 2003 ; Masmoudi-Charfi et Ben Mechlia, 2009),** en utilisant soit la méthode des équilibres soit celle des normes (http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/hort/soil_fruit.htm#AssessingNutrientNeeds, 5 Juin, 2020).

6.1. Méthode des équilibres

Cette méthode est basée sur l'établissement des équilibres entre les éléments fertilisants (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium) selon les exigences de la culture, sa physiologie et son stade de développement. Les équilibres sont obtenus sur la base de la fertilisation azotée. **L'azote est désigné par le chiffre 1, le phosphore est exprimé en termes de P_2O_5 et le potassium en termes de K_2O. Le calcium et le magnésium sont exprimés respectivement sous forme de CaO et MgO.**

6.2. Méthode des normes

Elle consiste à donner à la plante des solutions nutritives qui ont été établies sur la base des besoins en fonction des stades végétatifs. Ces solutions ont un niveau de fertilité croissant en azote ammoniacal et nitrique (10, 12, 14,4 et 18 milliéquivalent par litre). Les quantités d'éléments présents dans le sol et dans l'eau d'irrigation doivent être soustraites des doses préconisées.

7. Préparation de la solution nutritive (solution mère, solution fertilisante)

7.1. Terminologie et formules

La **solution mère** est la solution nutritive ou fertilisante qui sera injectée dans le réseau de distribution. Elle est caractérisée par sa concentration :

$$C\ (g/L) = m/V$$

Avec :
m : la masse d'engrais dissoute dans le volume d'eau V de la solution mère.
La **solution fille** est constituée par l'eau d'irrigation enrichie par injection de la solution mère. Sa salinité doit être inférieure à 4g/L. Elle est calculée par :

$$C_e\ (g/m^3) = C\ (g/L) \times Tx\ (L/m^3)$$

Avec :
Tx : le **taux d'injection** défini par : $Tx\ (L/m^3) = q/Q$

Avec,
q : débit de la pompe doseuse (L/h) et Q le débit de la conduite principale (m^3/h).
La quantité d'engrais à dissoudre dans le dilueur de volume V_c (L) est donnée par :

$$m_{engrais} (kg) = C_e Q V / q$$

Source: Zayani (1996).

C_e : concentration en g engrais/l de la solution fille.
V : volume du réservoir en litre.
Q et q : les débits d'irrigation et d'injection en l/h.

7.2. Mode opératoire

Les solutions nutritives utilisées en fertigation **se basent sur l'estimation des besoins de l'arbre en éléments nutritifs en fonction de son stade physiologique, de la fertilité du sol, des conditions climatiques et de la charge en fruits.** Les éléments sont exprimés en N, P_2O_5, K_2O, CaO et MgO et les quantités à fournir en kg/ha. La solution mère (concentrée nécessitant une dilution) est préparée 1 à plusieurs fois par jour; parfois, 1 fois /10 jours (définir la cadence de préparation de la solution nutritive selon la taille du réservoir et la superficie à fertiguer). L'apport de NPK nécessite en général un seul bac. Si l'apport concerne aussi Ca et Mg, il est préférable d'utiliser un 2ème bac. Le calcium est ajouté séparément des sulfates et des phosphates. Les engrais sont versés dans l'eau du bac par ordre d'alcalinité et de solubilités croissantes **(Zayani, 1996).**

Bac 1 :
-remplir le bac d'eau au 1/3. L'utilisation d'une eau tiède (20-25 °C) facilite la solubilisation des engrais.
-y ajouter l'acide nitrique (en cas de nécessité de réduire le pH),
- pré solubiliser les engrais
- ajouter les engrais à utiliser un par un, dans l'ordre suivant, en mélangeant :
- ✓ phosphates (puis ajouter de l'eau au bac, 10- 20 litres),
- ✓ nitrate de potasse, puis ajouter de l'eau au bac, 10- 20 litres),
- ✓ nitrate de magnésie puis ajouter de l'eau au bac, 10- 20 litres),
- ✓ sulfate de magnésie (+ eau),
- ✓ sulfate d'ammoniaque (+ eau),
- ✓ sulfate de potasse (+ eau),
- ✓ oligoéléments si nécessaire.

-Compléter le bac avec de l'eau.
Bac 2 :
-Remplir le bac d'eau au 1/3 de son volume.
-Ajouter l'acide nitrique.
- Pré solubiliser le nitrate de magnésie et l'ajouter. Ajouter de l'eau (10- 20 litres).
- Ajouter le nitrate de calcium pré solubilisé. Ajouter de l'eau au bac (20- 30 litres),
-Ajouter le nitrate de potasse
- Ajouter les oligoéléments
- Compléter le bac avec de l'eau.
- Ne jamais ajouter de sulfate ni de phosphates dans ce bac.

Remarques
-La première phase d'une culture (phase végétative) nécessite plus de N et de P que de K. Les phases reproductives nécessitent plus de K que de N ou de P.

-Le sulfate de potasse est l'engrais qui pose le plus de problème à cause de sa faible solubilité et les fortes doses à apporter. Il est préférable de l'apporter à part. Toutefois son mélange avec les autres engrais s'impose pendant les périodes de grossissement des fruits ; la potasse n'est pas injectée seule, mais en mélange avec les autres engrais. Il est nécessaire alors de respecter les équilibres entre N, P et K par exemple (1 N- 0,2 P_2O_5- 2 à 2,5 K_2O). Le chélate de fer doit être apporté en dernier lieu.

-Il existe des solutions 'fille' prêtes à l'emploi' préparées pour de petites superficies.

-A titre indicatif : Un bac de 1 m^3 peut couvrir de 200 à 300 m^2.

Les recommandations doivent être considérées comme un guide général uniquement.
Le programme exact de fertigation doit être déterminé en fonction des besoins spécifiques de la culture.
Il n'y a pas de solution nutritive 'passe par tout'. Il faut raisonner la composition des solutions nutritives en fonction des données du milieu et des contraintes.

8. Pilotage de la fertigation

Une fois la méthode d'apport des engrais est fixée, la solution d'engrais est injectée. Le débit de l'injecteur doit être réglé de manière à maintenir un taux constant durant toute l'irrigation. Il est nécessaire de commencer l'irrigation par de l'eau claire afin de chasser l'air du réseau et d'imbiber le bulbe. Ensuite, l'irrigation est poursuivie par l'injection d'engrais en veillant à ce que la concentration des engrais dans l'eau d'irrigation ne dépasse pas 2‰. Une fois l'injection des engrais terminée, l'irrigation continue par de l'eau claire en quantité suffisante pour garantir le passage complet du fertilisant vers la zone radiculaire et de l'évacuer des rampes d'irrigation. Certains recommandent de commencer l'irrigation par une eau claire, puis de ferti-irriguer, l'apport des engrais est laissé à la fin de l'irrigation afin d'éviter leur lessivage.

La fertigation peut est pilotée / contrôlée (chaque semaine) par la conductivité électrique (CE) du sol et de la solution nutritive (SN) qui est ajustée en fonction des besoins du stade de développement. Les faibles valeurs de CE (mesurée au conductimètre) sont réservées à la croissance végétative (1,5 à 1,8 mS/cm en cours de végétation) et les plus élevées au grossissement des fruits (2 à 2,5 mS/cm).

Des contrôles périodiques du pH et de la CE de la solution sortante des goutteurs doivent être effectués à l'aide d'un pH-mètre et d'un conductimètre. Le contrôle concerne aussi la vérification de l'état du matériel d'injection ou de distribution, celui des filtres (par mesure de la pression au moyen de manomètres). Le nettoyage des filtres est important à la fin de chaque campagne ou en cas de présence de précipités dans le réservoir. L'injecteur doit être placé en amont du filtre de sorte que, s'il se forme des précipités, ceux-ci seront interceptés avant que l'eau ne soit acheminée dans les canalisations d'arrosage.

9. Unités et conversions

La correspondance des unités et les conversions sont portées aux **Tableaux 19 et 20**.

Tableau 19. Correspondance des unités.

1 méq (milliéquivalent)	mg		1 mmol	mg	Poids de l'ion
NH_4^+	14 mg N		NH_4^+	14 mg N	18 mg NH_4^+
NO_3^-	14 mg N		NO^{3-}	14 mg N	62mg NO_3^-
$H_2PO_4^-$	31 mg P		H_2PO^{4-}	31 mg P	99 mg $H_2PO_4^-$
HPO_4^{--}	15.5mg P		HPO^{4--}	31 mg P	98 mg HPO_4^{--}
Ca^{++}	20 mg Ca		Ca^{++}	40 mg Ca	40 mg Ca^{++}
K^+	39 mg K		K^+	39 mg K	39 mg K^+
Mg^{++}	12 mg Mg		Mg^{++}	24 mg Mg	24 mg Mg^{++}
$SO4^{--}$	16 mg S		$SO4^{--}$	32 mg S	96 mg SO_4^{--}
Na^+	23 mg Na		Na^+	23 mg Na	23mg Na^+
Cl^-	35,5 mg Cl				

NB : 1 méq donne une milli mole d'un ion monovalent ou une demi-milli mole d'ion bivalent.

Tableau 20. Table de conversion des éléments minéraux, de la forme élémentaire à la forme oxydée (gauche) et inversement (droite).

De	à	multiplier par		De	à	multiplier par
P	P_2O_5	2,29		P_2O_5	P	0,44
P	PO_4	3,06		PO_4	P	0,32
H_3PO_4	H_2PO_4	0,98		H_2PO_4	H_3PO_4	1,38
K	K_2O	1,20		K_2O	K	0,83
Ca	CaO	1,40		CaO	Ca	0,71
Mg	MgO	1,60		MgO	Mg	0,60
S	SO_3	2,50		SO_3	S	0,40
S	SO_4	3,00		SO_4	S	0,33
N	NH_4	1,28		NH_4	N	0,82
N	NO_3	4,43		NO_3	N	0,22

Source : Papadopoulos (1996).

10. Précautions à prendre

- Les équipements d'irrigation doivent être fabriqués en matériaux résistants à la corrosion.
- **Le stockage des engrais à proximité des produits inflammables, des métaux, de la paille… peut présenter des risques d'explosion ou d'inflammation.**
- Le stock de solution d'engrais doit être toujours dissout dans un contenant séparé, puis versé dans le réservoir d'amorçage.
- Les engrais solides doivent être très solubles et ne doivent pas former d'écume ni de sédiments susceptibles de causer des problèmes de colmatage des distributeurs lorsqu'ils sont dissouts dans l'eau.
- La solution doit toujours être agitée et bien brassée.
- Il faut retirer régulièrement les boues déposées au fond du réservoir.
- Le tuyau d'aspiration de l'injecteur ne doit pas reposer sur le fond du réservoir.
- L'eau chaude peut aider à dissoudre l'engrais desséché.

- Il ne faut pas utiliser les phosphates et les acides avec les sels de calcium ou de magnésium ou avec les eaux riches en ces éléments. Les eaux riches en calcium (> 70 mg/l) sont incompatibles avec les sulfates.

11. Entretien du réseau

La purge du réseau est effectuée lors de la 1^{ière} mise à l'eau.
Nettoyer les rampes en cours de campagne si nécessaire. Les pompes doseuses peuvent être utilisées pour l'injection de l'acide nitrique ou chlorhydrique dont la concentration en acide pur est de 2 à 5 pour mille pour prévenir le colmatage chimique des distributeurs **(Zayani, 1996).**

Nettoyage des filtres:

- Filtre à sable. Si la différence de pression ($P_{entrée} - P_{sortie}$) au niveau du manomètre > 0,5 bar faire un contre lavage dans le sens inverse de l'eau. Changer le filtre à sable une fois / an
- Filtre à tamis (métallique) : brosser avec une brosse métallique. Si les mailles sont altérées, changer le filtre.

La fertigation peut être complétée par des pulvérisations d'engrais foliaires à base d'oligoéléments lors des stades (floraison-nouaison) et par un apport hivernal de fumier.

LA FERTILISATION FOLIAIRE

1. Introduction

L'application d'engrais foliaires permet de compléter les besoins en nutriments en période de pointe, rapidement et efficacement en augmentant l'efficience d'utilisation de l'azote (EUN), en particulier et de réduire le coût de la fertilisation en raison de la réduction des quantités d'engrais utilisées et de la possibilité d'associer les traitements phytosanitaires aux engrais à pulvériser. L'azote et le potassium sont les éléments nutritifs les mieux absorbés par le feuillage. La pulvérisation des engrais foliaires sur olivier au printemps et à la fin de l'été permet d'accélérer la croissance végétative, d'augmenter le rendement en olives et d'améliorer la qualité nutritionnelle de l'huile. De bons résultats sont obtenus au delà d'une concentration de 3-4% (urée). Il est recommandé de procéder à ce genre de fertilisation en dehors des périodes de pluie.

2. Engrais azotés utilisés en application foliaire

Les engrais azotés utilisés en application foliaire sont portés au **Tableau 21.** L'urée contient un pourcentage élevé d'azote (46%). Son absorption est rapide (60–70% de l'urée appliquée peut être absorbée par les feuilles), se produisant au cours des quelques heures qui suivent son application.

Tableau 21. Engrais azotés utilisés en application foliaire.

Engrais azoté	Composition %
Urée	46%N
Nitrate d'ammonium	33,5%N
Sulfate d'ammonium	20,5%N
Nitrate de potassium	13% N et 46% K_2O
Nitrate de magnésium	11%N
Nitrate de calcium	15,5% N et 26,5% CaO

Masmoudi- Charfi et al., (2012).



3. Facteurs affectant l'absorption foliaire des engrais

Les pulvérisations foliaires présentent l'avantage de donner une réponse rapide et efficace pour traiter les carences en nutriments **(Therios, 2009 ; Policarpo et al., 2008).** Le meilleur moment pour pulvériser l'engrais est tôt le matin ou le soir, lorsque les températures sont plus faibles et que l'humidité relative de l'air est relativement élevée.

Les pulvérisations foliaires faites sous température élevée et faible humidité causent des brulures sur le feuillage. L'absorption des engrais pulvérisés est réduite si les oliviers pulvérisés sont soumis à un stress hydrique (stomates partiellement ouverts).

Les produits humidificateurs ou surfactants améliorent l'absorption des engrais en augmentant l'humidité autour du feuillage.

L'application des engrais foliaires au printemps après l'apparition des nouvelles feuilles améliore leur absorption. Lorsque l'application foliaire est faite en automne, la teneur des feuilles en azote augmente de manière consistante (+50%).

L'absorption de l'urée n'est pas influencée par le statut des feuilles en azote. Sa translocation des feuilles matures vers les autres tissus végétatifs dans les plantes déficientes est plus faible que dans les plantes ayant des teneurs suffisantes. Les feuilles âgées absorbent plus difficilement les engrais. L'urée est véhiculée de manière acropète et basipète, cependant, la translocation de N-urée aux racines des plantes déficientes est moins efficace que dans les pousses.

Le type d'engrais et le degré de sa solubilité est déterminant du niveau d'absorption des engrais.



Photo 10. Pulvérisation d'engrais foliaires sur olivier**.**
(Source: https://www.google.tn/images-pulvrisation+foliaire+azote+olivier, Juin 2018)



VALORISATION DES MARGINES COMME FERTILISANT NATUREL AU SOL

Les margines sont des effluents générés par l'activité agroindustrielle de transformation des olives en huile (novembre-janvier). En moyenne 1 m^3 de margine est produit par le pressage de 1 à 1,5 tonnes d'olives. La Tunisie en produit annuellement 800.000 tonnes (0,8 tonne par tonne d'olives triturée) et plus de 10 millions de tonnes sont produites autour du bassin Méditerranéen **(Ben Rouina, 2019).**

Cependant, l'écoulement illicite et anarchique des margines dans la nature a généré de grands problèmes environnementaux (eutrophisation, anoxie, pollution..). Pour résoudre ces problèmes de pollution et en vue d'améliorer la fertilité des terres agricoles dégradées, des études de valorisation de ces effluents ont été réalisées. Ainsi, dans de nombreux pays producteurs d'olives (par exemple, l'Italie, la France), ces déchets sont appliqués en tant qu'amendements aux sols agricoles selon des exigences spécifiques **(Cadillon et Lacassin, 1992 ; Ben Rouina et al., 2015 ; Regni et al., 2017).** Une telle application a suscité un intérêt non seulement en raison de son coût relativement faible (le coût d'une fertilisation classique est égal au cout d'épandage + stockage des margines), mais aussi pour son potentiel à améliorer la fertilité du sol.

Exemple :
Par rapport à une fertilisation classique sur oliviers, un apport de 100 m^3/ha de margines correspond à une fertilisation normale en magnésie, élevée en phosphore, très élevée en potasse, variable en azote mais généralement très élevée. Ces enrichissements justifient l'intérêt de la valorisation agricole des margines qui peuvent être utilisées comme fumure d'entretien par épandage sur le sol. Cependant les doses à appliquer doivent être judicieusement étudiées sur la base des teneurs en potasse.

Remarque :
L'apport d'eau par les margines est négligeable.

Les travaux menés par **Cadillon et Lacassin (1992)** ont montré que les margines sont des effluents acides (pH de 4,8) à forte charge saline (conductivité de 10 mS/cm due à la présence d'ions potassium 8 g/l, chlorures 800 mg/l, calcium 570 mg/l et magnésium 200 mg/l) et à forte teneur en matière organique (100-150 g/l). Elles contiennent de fortes teneurs en azote organique et en phosphore (285 mg/l). La fourniture d'azote nitrique par les margines se fait progressivement par minéralisation lente. Ces composants, minéraux et organiques, apparaissent sous forme soluble et concentrée ce qui les rend peu épurables, mais, cependant, valorisables. L'épandage des margines en hiver s'avère peu profitable étant donné que l'azote peut être lessivé. Ces auteurs suggèrent le stockage des margines (bassin de stockage muni de pompe) et leur application au mois de février. Après avoir élaboré une étude préalable sur le sol et défini les précautions à prendre pour éviter sa contamination, celle de la plante (mouillage des feuilles, application sur une culture en végétation) et celle de la nappe, **Cadillon**

et Lacassin (1992) recommandent son utilisation sur sols à texture grossière. Les sols acides devront être neutralisés avec de la chaux avant l'épandage des margines du fait de leur acidité. L'épandage des margines doit être suivi rapidement par un labour d'enfouissement afin de faciliter l'adhésion des composants des margines aux particules du sol et éviter leur percolation.

Les travaux menés en Tunisie **(Ben Rouina et al., 2015)** ont abouti à la mise au point d'une législation officielle permettant l'épandage de 50 m^3 de margines par hectare (Décret 1306 du 26 février 2013) en remplacement des engrais chimiques de synthèse. L'étude a été réalisée sur 12 ans entre 1995 et 2012 par une équipe multidisciplinaire de chercheurs de l'Institut de l'Olivier touchant à la plupart des aspects allant de l'agronomie, aux sciences du sol, jusqu'à la microbiologie et la technologie. Les expérimentations ont été réalisées en plein champs sur des parcelles d'olivier d'une surface de quatre hectares dans cinq sites géographiques éloignés. 3 doses de margines ont été testées (50, 100 et 200 m^3/ha/an) **(photo 11).**



Photo 11. Epandage de margines fraîches au moyen du tracteur muni d'une citerne vide fosse actionnée par la prise de force de celui-ci (Ben Rouina et al., 2015).

Les résultats ont montré que l'utilisation des margines comme fertilisant des terres agricoles a permis une amélioration du statut organique et minéral du sol. Après dix années d'utilisation, le taux de matière organique est passé de 0,15 % à 0,74 %. Celui de l'azote total a évolué de 176 ppm à 425 ppm. De même la vie micro organique du sol a été améliorée en passant de 2105 à 8106 UFC. La production de l'olivier a augmenté de +27% durant 12 campagnes agricoles.

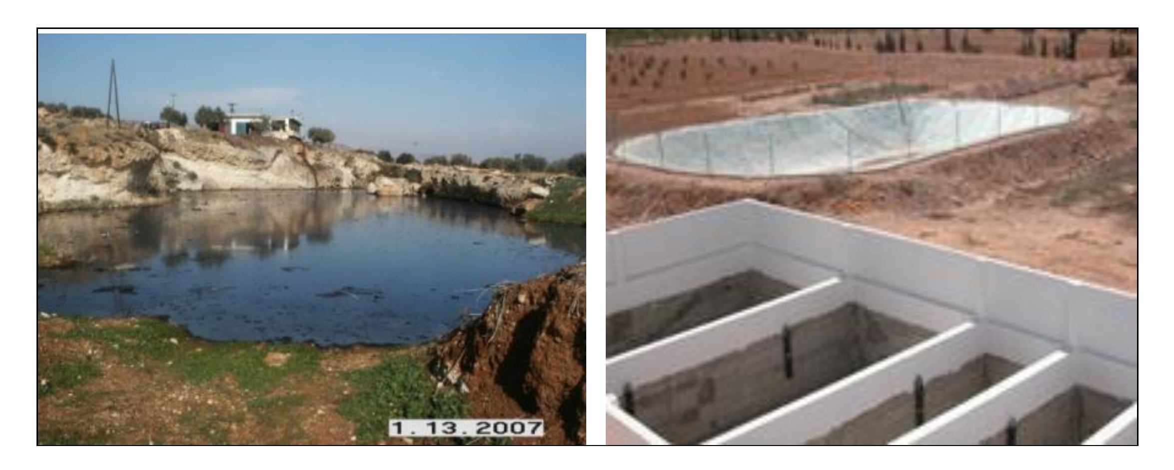


Photo 12. Déversement contrôlé des margines dans des espaces de stockage réservés où elles se dessèchent naturellement. A gauche, bassin en terre filtrante pour la collecte des margines dans la région de Sfax qui produit en moyenne 350.000 tonnes de margines/an. A droite : bassins couverts d'une membrane géotherme isolante, de faibles capacités (400 m^3) qui servent de station de relai pour l'approvisionnement des tracteurs d'épandage (Ben Rouina et al., 2015).

En effet, riches en matières organiques (6 à 14 %) et minérales (1,5 à 4%), les margines apportent au sol, par mètre cube, entre 75 et 107 kg de matière organique et de 12 à 23 kg de matière minérale, contenant du potassium (4,32 à 9,8 kg), du calcium (0,34 à 0,62 kg), des chlorures (1,5 à 1,8 kg) et du sodium (0,75 à 1,6 kg). Malgré son contenu en polyphénols (4,6 à 6,5 kg), son pH acide (4,5 à 5,5) et sa conductivité électrique élevée (12,5 à 18,6 dS m^{-1}), aucun effet négatif n'a été enregistré aussi bien sur le sol que sur le végétal. De ces résultats, des gains économiques et environnementaux sont réalisés.

Suite aux résultats obtenus durant ces longues années de recherches et consolidés par le Projet CFC / IOOC / 04 (Utilisation des margines et des grignons d'olives sur des terres agricoles), une multitude de journées d'information ont été réalisées au profit des utilisateurs potentiels (propriétaires des huileries, agriculteurs, …).



Photo 13. Photo illustrant l'amélioration de la biodiversité naturelle dans les oliveraies en milieu aride tunisien à faibles précipitations (< 250 mm de pluie par an).
(Ben Rouina et al., 2015)

Outre l'amélioration du statut microbiologique des sols induisant une durabilité des écosystèmes fragiles des zones arides et semi arides, l'épandage direct des margines dans les oliveraies a amélioré le statut minéral du sol et a induit de ce fait, une meilleure croissance et production de l'olivier. De plus, l'utilisation rationnelle des margines comme fertilisant naturel des terres agricoles par épandage a permis la réduction de la pollution générée par l'usage

massif des engrais chimiques (engrais azotés principalement). Pour réussir cette opération d'épandage homogène et uniforme sur le terrain, l'industrie métallurgique de fabrication des citernes, nécessaires pour l'opération, est développée. De plus, l'amélioration des productions d'olives et de l'huile d'olives a induit une augmentation des revenus des agriculteurs et a majoré les besoins en main d'œuvre et en outils d'aide, nécessaires pour la récolte des olives.

Les travaux de synthèse de **Regni et al., (2017),** présentent les avantages et les risques de l'utilisation des déchets des huileries comme amendement du sol et les recommandations sur leur application correcte. En effet, les teneurs élevées en phosphore, en potassium et en matière organique des déchets ont une incidence positive sur les caractéristiques physico-chimiques du sol, améliorant la productivité des cultures. Cependant, l'application de ces déchets aux sols devrait être mise en œuvre avec rationalité, étant donné que la forte concentration de phénols a un effet bactériostatique bien connu sur les microorganismes et un certain effet phytotoxique sur les cultures. De plus, une gestion prudente de cette application est requise en raison de la nature acide des déchets et de sa forte concentration en sels.



Photo 14. Epandage de margines fraîches (Ben Rouina et al., 2015).

INJECTION DES FERTILISANTS AU TRONC

1. Principe

La technique consiste à injecter des engrais dans le système vasculaire. Elle est utilisée lorsque les autres méthodes d'application des engrais n'apportent pas de satisfaction, en particulier dans le cas de la chlorose ferrique. L'avantage principal réside dans le fait que la totalité du produit injecté reste dans la plante (pas d'effet polluant). Bien que cette méthode de fertilisation s'avère la plus rapide, elle peut occasionner des problèmes de toxicité aigus.

Les premiers essais ont été réalisés sur des hêtres en cours de dépérissement **(Veldeman, 1980)** par injection de solutions nutritives (N, P, K, sucres et hormones) sous pression (4-5 bars) dans le système vasculaire de l'arbre, au niveau de la base. L'essai a abouti à une renaissance des radicelles.

Saleh et al. (2016) ont étudié l'effet de l'injection de fer (solution de FeSO4, injection de 25g $FeSO_4$/arbre) au palmier dattier variété 'Piarom' - Iran en comparaison avec d'autres traitements (témoin, application en surface de Fe-EDDHA, application en profondeur de $FeSO_4$) pour corriger des déficiences ferriques. Le traitement « injection de solution de $FeSO_4$ » aux arbres de 12 ans a donné les meilleurs rendements (120 kg/arbre), un niveau de sucres réducteurs élevé (71%) avec les index brix les plus élevés.

2. Méthodes d'injection

De nombreuses méthodes d'injection ont été développées. Cependant, au vu de leur coût élevé, elles sont peu pratiquées ou à petite échelle. L''injection des engrais se fait soit par perfusion soit par injection.

La perfusion consiste à frotter le produit sur l'écorce (produit riche en fer), qui sera véhiculé par le xylème vers les autres parties de l'arbre en bénéficiant de l'effet de la transpiration. Le passage du soluté à travers l'écorce peut être entravé par son épaisseur (barrière solide).

L'injection consiste à incorporer des capsules d'engrais (8-13 mm de diamètre et entre 3 et 4 cm de longueur) dans le tronc. Le contenu est diffusé dans la sève brute et distribué dans les parties de la plante grâce au flux transpiratoire. L'efficacité du système dépend du nombre de capsules et de leurs emplacements. La contrainte réside dans la formation de cal cicatriciel au niveau de l'emplacement de la capsule ce qui entrave le passage du produit. Pendant la période d'activité du cambium, la cicatrisation peut être très rapide, la capsule peut former alors un obstacle au passage de la sève.

La deuxième méthode d'injection consiste à incorporer un engrais liquide sous pression allant de 100KPa à 1,4 MPa ce qui permet la diffusion de l'engrais dans le système conducteur. Le nombre d'injections varie de 1 à 3 selon l'état de la chlorose (ferrique). Son effet dure plus

de 3 ans. L’injection se fait soit en hiver par temps clair soit au courant de l’été. Au printemps, des risques de toxicité existent.

3. Avantages et limites

L’injection au tronc est une nouvelle méthode de fertilisation qui présente plusieurs avantages tels que la diminution de la pollution de l’environnement, la longue période de validité de l’injection et son efficacité **(Haifa, 2016).** Cette technique a été testée sur olivier en injectant des produits ferriques (sulfate de fer) à basse pression dans le but de combattre les chloroses ferriques.

Les dispositifs d’injection ont connu des améliorations pour faciliter l’injection des engrais (avec ou sans pesticides) aux arbres. Les dispositifs actuels sont constitués d’un connecteur et d’une bouteille sous pression. Il contient un engrais spécial auquel on peut ajouter la dose nécessaire de produit phytosanitaire à injecter dans le tronc.

Ce dispositif permet d'injecter directement son contenu dans le système vasculaire en offrant une répartition et une action plus efficace et plus homogène du produit dans l'arbre Il est conçu pour favoriser l'efficacité du traitement en permettant d'obtenir de meilleurs résultats avec un nombre moindre d'applications. Cette efficacité, conjuguée à la facilité et au confort de l'application, offre des traitements des arbres et palmiers beaucoup plus économiques. En outre, la méthode d'application permet d'éliminer les risques et impacts sur la santé de l'applicateur, des personnes, des animaux domestiques et insectes bénéfiques et en général sur l'environnement. De plus l’injection au tronc est une pratique alternative qui permet de diminuer la consommation de produits phytosanitaires et qui réduisent les risques et effets sur la santé humaine.

L’application simplifie toutes les opérations liées aux traitements, sans avoir besoin d'utiliser d'équipements de protection. Le système permet l'application à tout moment de la journée, sans qu'il soit besoin de clore ou d'isoler les zones à traiter et indépendamment des conditions météorologiques. On évite ainsi l'émission de produits phytosanitaires qui pourraient être préjudiciables aux personnes et animaux.

Comme le produit appliqué est directement introduit dans le système vasculaire de l'arbre ou du palmier, on en multiplie les effets et l'efficacité.

Le système d'injection augmente la persistance et la durée des effets du produit appliqué. Il permet de réduire le nombre d'applications nécessaires pour réaliser n'importe quel traitement, ce qui représente une importante économie en produits phytosanitaires, en eau, énergie, temps d'application et main d'œuvre.

Ce système peut être utilisé pour appliquer directement des engrais ou pour réaliser des traitements sur des organismes nuisibles et maladies en leurs ajoutant un produit phytosanitaire.

4. Objectifs

- Traitement des carences et reverdissement rapide du feuillage,
- Traitement des insectes/organismes nuisibles et des champignons (Charançon rouge / Hylésine / Pucerons, Psylles, Mouches blanches et Cochenilles / Phytophthora et Pourritures).

5. Mode opératoire

Etape 0. Déboucher le dispositif contenant l'engrais ou le produit phytosanitaire.

Etape 1. Pratiquer les orifices dans le tronc.

Etape 2. Insérer le dispositif d'injection (seringue, …)

Etape 3. Injecter le produit.

Etape 4. Retirer le dispositif et colmater l'orifice de mastic.



Photo 15. Injection des fertilisants (fer) dans les troncs de palmiers (Saleh, 2016).

Sources : www.joaat.com/uploadfile/2016/1205/20161205032133485.pdf.

file:///C:/Users/hp/Desktop/FERTIGATION/Kit d'injection pour le traitement des palmiers. 15 Mai 2018 - http://www.amrisys.com/comment-injecter-engrais-liquide-pour-les-arbres-adultes-05.html. 15 Mai 2018.

PROGRAMME INTEGRE DE FERTILISATION
LA FERTIGATION

1. Facteurs d'ajustement du plan de fumure

Plusieurs facteurs liés au sol ou à la plante imposent la correction de la fumure par l'adoption d'un plan adéquatement élaboré. Des problèmes physiologiques, tels que le brunissement ou pathologiques tels que la verticilliose peuvent être atténués par un ajustement de la fumure, comme le montre le **Tableau 22**.

Tableau 22. Ajustement du plan de fumure en fonction du problème posé.

Facteurs de correction de fumure	N	P_2O_5	K_2O	MgO	Matière organique
Sol très calcaire		+ + *///	+ + *///	+ *///	+ +
Sol très argileux		+ + *///	+ + *///	+ *///	+ +
Sol filtrant		//	+//	+//	+ +
Faible teneur en matière organique	+ //	+ + *	+ *		+ +
Carence du sol en l'élément à apporter		+ + //	+ +	+ *	+
Fumure d'entretien de type minéral	//	//	//	//	+ +
Combustion du bois de taille	+	+	+	+	+
Enherbement à base de graminées	+				-
Enherbement à base de légumineuses	--		+		-
Faible récolte potentielle	-		-		
Forte récolte potentielle	+		+		
Vigueur excessives des arbres	--				--
Brunissement des olives	--	+	-	-	
Verticilliose	--				**

Le Verge et Zazzaron (2017).

Légende :
- : légère réduction de la fumure
+ : léger renforcement de la fumure
- - : forte réduction de la fumure
+ + : renforcement soutenu de la fumure
// : Fractionnement des apports
* : pas d'apport si le sol est bien pourvu

2. Base d'un programme de fertilisation intégrée

Le programme de fumure prend en compte plusieurs paramètres liés au sol et à la plante, parmi lesquels le stade de développement de la culture. Pour établir un programme intégré de fertilisation on peut se baser sur la **Figure 11.**

Les amendements au sol sont effectués préférentiellement à la fin de l'hiver, les engrais foliaires sont appliqués entre les périodes de préfloraison et de grossissement des fruits (première phase) alors que la fertigation se pratique au cours de la période d'irrigation.

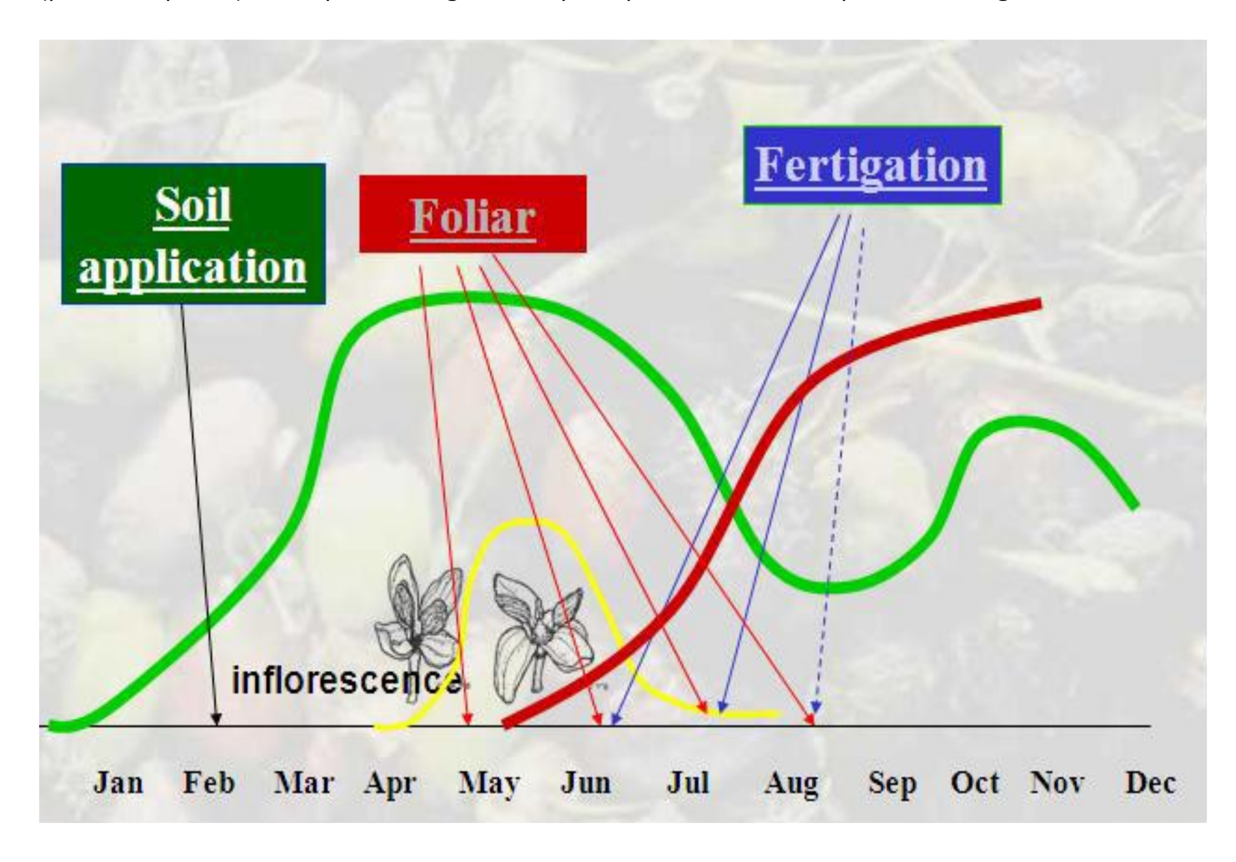


Figure 11. Schéma des besoins en nutriments des feuilles d'olivier (courbe grise), des fleurs (courbe blanche) et des fruits (courbe noire) (Haifa, 2016).

Remarque : Différence entre engrais et amendement
- L'engrais est un fertilisant qui apporte des éléments nutritifs utiles pour favoriser la croissance végétative, améliorer la floraison…. Son effet est relativement rapide et sert à nourrir les plantes.
- L'amendement est davantage utilisé à long terme. Il améliore ou rééquilibre la structure du sol, l'enrichit aussi mais de façon plus diffuse (la chaux, les résidus de bois de taille, le soufre, le sulfate de fer et d'aluminium..). Leur diffusion est lente mais régulière et constante. Le compost et le fumier sont à la fois des amendements organiques et des engrais...Les amendements sont utilisés pour améliorer la qualité du sol.

3- Les différentes pratiques de la fertilisation / fertigation

3.1. Quel engrais utiliser ?

La solution mère est la solution fertilisante ou solution nutritive qui sera injectée. La solution fille est l'eau d'irrigation fertilisée après injection de la solution mère.

La concentration de la solution mère est définie par le poids d'engrais dissout (g) par unité de volume de la solution mère (litre).

Le taux d'injection (l/m^3) est défini par le rapport de débit de la pompe doseuse (l/h) par le débit de la conduite d'irrigation (m^3/h).

La salinité de l'eau d'irrigation fertilisée est le produit de la concentration de la solution mère et du taux d'injection (l/m^3 ou pour mille). Il est recommandé de veiller à ce que la salinité reste inférieure à 4g/l. L'irrigation fertilisante est déconseillée lorsque la conductivité électrique de l'eau dépasse 3 dS/m.

La solution d'engrais sous forme liquide est injectée dans le système en quantité limitée mais de manière répétée et en continu pendant l'irrigation (Phocaides, 2008). Le débit de l'injecteur doit être réglé de manière à maintenir un taux constant durant tout le temps de fertigation. Mais il est nécessaire de commencer l'irrigation par de l'eau claire afin de chasser l'air du réseau et de garantir l'imbibition du bulbe. Ensuite, l'irrigation est poursuivie par l'injection d'engrais en veillant à ce que la concentration des engrais dans l'eau d'irrigation ne dépasse pas 2‰. Suite à l'injection d'engrais, il faut s'assurer que l'irrigation continue par de l'eau claire en quantité suffisante pour garantir le passage complet du fertilisant vers la zone radiculaire.

Le choix des engrais dépend de leur solubilité, de leur acidité, de leur compatibilité et de leur coût. Il est impératif de choisir des engrais solubles (solides ou liquides). L'élément communément appliqué est l'azote. Toutefois, l'application du phosphore et du potassium est courante pour certains modes de conduites (olivier en hyper-intensif).

Solubilité : Le degré de solubilité des engrais varie en fonction du leur type.
-Le nitrate de potassium (13-0-46) a une faible solubilité, d'environ 1:8 (1 kg d'engrais sec dans 8 litres d'eau).
-La solubilité du chlorure de potassium (0-0-62) est de 1:3, tandis que celle du nitrate d'ammonium (34-0-0) et du nitrate de calcium (15,5-0-0) est d'environ 1:1.
-Les engrais secs phosphoreux ont une solubilité plus faible que les nitrates, soit environ 1:2,5.

Acidité : La solution mère doit avoir un pH acide variant entre 5 et 6. L'acidité produite par diverses formes d'azote varie selon le type d'engrais, l'eau d'irrigation et le type de sol. Une vérification du pH du sol au début de la saison est nécessaire, puis à la fin de la saison d'irrigation.

Quantité : La quantité d'engrais à appliquer est répartie le long du cycle de croissance en fonction des besoins spécifiques de chaque stade phénologique mais également en fonction du nombre d'irrigations. Il est primordial de comptabiliser les quantités naturellement présentes dans l'eau d'irrigation.

Les engrais généralement utilisés sont: l'urée(N), l'acide nitrique (N), le nitrate d'ammonium (N), l'acide phosphorique (P), le sulfate de potassium(K), le phosphate mono potassique (P K),

le nitrate de potasse (N K) et le nitrate de calcium (N). Certains produits apportent aussi des éléments mineurs comme le sulfate de magnésie ou le nitrate de magnésie **(Tableau 23).**

Tableau 23. Composition et solubilité de quelques engrais utilisés en irrigation fertilisante (en % du poids).

	Engrais	Azote % N	Phosphore % P_2O_5	Potassium % K_2O	Autres sels %	Solubilité (g/l)	
						0°C	25°C
Azote	Sulfate d'ammonium	21	-	-	Sulfate (59,2)	700	760
	Urée	46	-	-	-	-	-
	Nitrate d'ammonium	33,5	-	-		670	1190
	Nitrate de calcium	15	-	-	CaO (27)	1180	2190
	Nitrate de magnésium	11	-	-	MgO (15,7)	1000	2600
	Acide nitrique	12,6	-	-	-	Liquide	Liquide
Phosphore	DAP	24	60	-	-	225	400
	Acide phosphorique	-	52	-	-	Liquide	Liquide
Potassium	Sulfate de potassium	-	-	50	Sulfate (45,6)	74	125
	Nitrate de potassium	13	-	46		130	335
Engrais	4-8-12	4	8	12		Liquide	Liquide
	12-4-6	12	4	6		Liquide	Liquide
	6-8-8	6	8	8		Liquide	Liquide

Il est possible d'utiliser des engrais composés ou certains engrais (solides et liquides) contenant des oligo-éléments, des matières organiques (acides fulviques, acides humiques, acides aminés…).

Les engrais azotés et potassiques ne posent généralement pas de problèmes d'injection. Mais, lorsque l'eau est dure, les phosphates peuvent précipiter. Il faut utiliser dans ce cas un engrais phosphaté acidifiant (phosphate mono-ammonique).

3.2. Comment corriger le pH du sol

Cas 1. Correction du pH du sol

- Sol acide : la chaux est couramment utilisée pour corriger le pH des sols acides. Les quantités à appliquer varient selon la texture du sol. Pour augmenter d'une unité le pH d'une couche de sol de 18 cm partant d'un pH initial de 4,5 ou de 5,5, la quantité de calcaire nécessaire est de 1,36 t/ha pour un sol sableux à 5,45 t/ha pour un limon argileux.

- Sol sodique : Il peut être corrigé par l'application de gypse. Le taux d'application peut être déterminé par une analyse de laboratoire. Une fois que le gypse est appliqué, le sodium déplacé doit être lessivé au-dessous de la zone des racines. Les matières organiques (fumier, cultures de couverture, résidus de cultures) aident à améliorer la structure du sol.

- Sol alcalin : peut être acidifié par l'application de soufre élémentaire.

NB :
Le pH diminue avec l'augmentation de l'amendement azoté sous forme $(NH_4)_2SO_4$.
Il faut 606 ml d'acide nitrique 38° Baumé pour neutraliser l'effet alcalinisant de 1 kg de phosphate bi-ammoniaque (20%N et 53% P_2O_5).

(Source: http://www.oliveoilsource.com/page/fertilizers-and-mendments)

Cas 2. Acidification du sol d'une oliveraie existante

Creuser 4-8 trous par arbre de 30 cm de profondeur et de 10 à 20 cm de diamètre près de la ligne des goutteurs. La terre retirée est mélangée avec du soufre S élémentaire. Remettre le sol fertilisé et gardez le sol autour de la plante humide.
Sol sableux : 450 à 900 kg de S élémentaire / ha.
Sol argileux : 1,8 à 2,25 tonnes de S élémentaire / ha.
Sols à haute teneur en matière organique et à teneur moyenne en argile : 1,8-2,25 T de S/ha.
Le sol ayant une teneur élevée en matière organique requiert plus de S élémentaire que le sol sablonneux, pour obtenir la même diminution du pH.
Cette opération est à pratiquer de préférence en automne. Tester le pH du sol au printemps.
Le processus doit être répété si le pH désiré n'a pas été atteint.
Le soufre sous forme de sulfate n'est pas un matériau acidifiant.
L'application fractionnée sur deux ou plusieurs années est préférable à un apport en bloc.
Les changements du pH sont à vérifier chaque année à la même période.

3.3. Comment corriger les états de déficiences et d'excès

Le Tableau 24 résume l'ensemble des pratiques à 'adopter' pour corriger les déficiences et les excès d'éléments minéraux majeurs et mineurs et quelques éléments traces. Le **Tableau 25** présente les quantités de potasse à apporter pour corriger le sol en fonction de sa texture.

Tableau 24. Quels modes de fertilisation peut-on adopter pour la correction des états de déficience et de toxicité chez l'olivier ?				
	Azote (N)	**Potassium (K)**	**Phosphore (P)**	**Calcium (Ca)**
Correction	Amendement au sol, Fertigation ou Pulvérisation foliaire d'urée (A titre indicatif : 2000L solution/ha, solubiliser 0,5-2 kg d'urée/hl, soit 4,6 à 18,4 kg N/ha).	L'apport de K en conditions de stress peut améliorer la résistance des oliviers. Adopter les techniques culturales qui améliorent la croissance des racines et l'humidification de la rhizosphère. Apport d'engrais: Epandage au sol, irrigation fertilisante (à titre indicatif on peut prendre une Dose : 0,5-1,0 kg de sulfate de potasse ou de nitrate de potasse /100 L d'eau ou par pulvérisation foliaire). Le maintien d'un pH=6.5 est critique pour optimiser l'absorption du potassium.	-Fertigation à l'acide phosphorique (0,5 kg P/arbre) sous-forme de phosphate d'ammoniaque (l'ion NH_4^+ favorise l'absorption des ions $H_2PO_4^-$ et HPO_4^-), -Pulvérisation foliaire de phosphate d'ammoniaque (A titre indicatif : 0,7 à 1 kg/100 L d'eau).	-Chaulage en incorporant au sol du $CaCO_3$ (A titre indicatif 200 à 1000 kg de 1000 m^2) en automne -Pulvérisation foliaire de chlorure de calcium anhydre 0,4% ou 1% de nitrate de calcium. Le nitrate de calcium (15,5-0-0-26,5) est un engrais soluble qui peut être appliqué en fertigation.

	Magnésium (Mg)	**Soufre (S)**	**Bore (B)**	**Zinc (Zn)**
Correction	La déficience en magnésium est mieux contrôlée par la fertilisation au sol ou par application foliaire de sulfate de magnésium ou de nitrate de magnésium. On peut appliquer soit : -Fumier (fournit 2 kg Mg /tonne), -Nitrate de chaux et de magnésie (8% MgO) -Sulfate de Magnésie (16% MgO, 2,0 kg/arbre de $MgSO_4 \bullet 7H_2O$). -Pulvérisation d'une solution à 2% de $MgSO_4 \bullet 7H_2O$, ou apport de 1- 2 kg de sulfate ou de nitrate de magnésie (11-0-0-16MgO) en mélange avec 0,5 kg d'urée/100 L	-Chaulage (engrais à base de sulfate). -Fumier : donne 0,5 kg S/tonne. Meilleurs engrais sulfurés : sulfate d'ammonium et sulfate de potassium **Remarque :** Les précipitations atmosphériques fournissent une dizaine de kg de S/ha/an	Déficiences : se fait au Borax (11% B), produit cristallisé utilisable au sol sec ou en pulvérisation foliaire, lessivable, à pratiquer chaque année à faible dose pour éviter les risques de toxicité. Apport de fumier (4 g Bore/Tonne) Apports d'engrais au sol à raison de 113 – 225 g de fertilisant/arbre (28 – 56 kg/ha), épandage tout au long de la ligne d'oliviers durant l'hiver. Application foliaire : 0,05% – 0,1% de Borax, avant l'initiation des bourgeons floraux ou immédiatement avant la floraison (améliore la nouaison). En fertigation, 1-2 mg/L (1– 2 ppm). Autres produits Solubor, (20,5 %B)	-Apport de fumier (apporte 20 g Zn/tonne), -Pulvérisation foliaire au début du printemps de fongicides (Zineb, Zirame et Mancozèbe), -Apport du sulfate de Zinc 0.1% (25-75 kg/ha), du nitrate de Zn (15-70 kg/ha), -Apport de compost

	d'eau. L'urée a un effet synergique pour l'absorption.		poudre plus soluble que le Borax en application foliaire ou au sol sous forme de solution (1 – 1,5 g / L). **Remarque :** Pour apporter 1kg de Bore, il faut apporter 8,85 kg de Borax (11,3 % B) ou 7,15 kg de Boracine (14 % B) ou 5,71 kg de Solubor (17,3 % B). Un apport de 50 kg de Borax peut être toxique.	
Excès	Réduit l'absorption de K.			Correction par chaulage et dilution par lessivage.

	Fer (Fe)	**Manganèse (Mn)**	**Cuivre (Cu)**	**Chlore (Cl)**	**Sodium (Na)**
Correction Des déficiences	Application foliaire (rapide et courte) ou fertigation (effet prolongé): chélates de Fer-EDDHA (12% Fe), applicable à 50 g / L d'eau. Injection dans le tronc des arbres : utiliser le sulfate de fer (20% Fe, $20 g/m^2$) Pulvérisation foliaire : nitrate de fer à la dose de 500 g/hl.	Application au sol : fumier (40 g Mn/Tonne), Pulvérisation foliaire de sulfate de manganèse à 0.2% (200 g /hl) ou de fongicides (Mancozèbe et Manèbe),	-Application de fumier (apporte 3 g Cu/Tonne). -Application au sol : sulfate de cuivre 0.5 kg/arbre, -Pulvérisation foliaire de sulfate de cuivre (0,05% ou 100 g d'oxychlorure de cuivre /100L eau).		Lessivage.
Correction des excès	Le remède est le lessivage, le chaulage, le drainage et l'arrêt des traitements à base de Mn.	Remède : élévation du pH du sol, augmentation du taux de la matière organique et arrêt des traitements cupriques.	Le remède est le lessivage.		

Sources: Fernández-Escobar et al., (1993) ; Delgado et al., (1994); Parra et al., (2003) ; Chatzissavvidis et al., (2005) ; Fernández-Escobar et al., (2006) ; COI, (2007); Vossen (2009) ; Boussadia et al., (2008); Saidane et al., (2014) ; Van der Gulik et Tam, 2006. Sources électroniques: http://www.summerlandolives.com.au/; http://www.oliveoilsource.com.

Tableau 25. Quantité de potasse nécessaire (kg K_2O /ha) pour la correction du sol en relation avec sa texture et le niveau de sa richesse.

	Type de sol		
Richesse en potassium	Sol sableux	Sol limoneux	Sol argileux
Sol riche	0	0	0
Sol bien pourvu	25	15	10
Sol peu pauvre	45	45	50
Sol pauvre	70	75	85
Sol très pauvre	90	105	120

Lorsque la concentration de K dans les feuilles baisse en deçà de 0,3%MS les symptômes de déficience apparaissent.
-Pour une concentration de 0,3–0,5%, une application de 4–10 kg K_2O/arbre est recommandée, avec un maximum toléré de 20 kg K_2O/arbre pour les sols lourds.
-Pour une concentration de 0,7%, la quantité de K à appliquer est double de N. Si on applique 0,5 kg N / arbre (c.-à-d. 2,5 kg de sulfate d'ammonium) on doit apporter 1 kg de K_2O/ arbre (c.-à-d. 2,0 kg de sulfate de potassium).
-Pour K > 0,9%, pas d'application de K.



Photo 16. Deux modalités d'apport du potassium chez l'olivier de table : Pulvérisation foliaire et application au sol sous goutteur.

-Une alternative, consiste à appliquer au sol 2,3 à 4,6 kg de K_2O /arbre en hiver sous forme de sulfate d'ammonium. Les petites quantités sont destinées aux sols sableux et les plus élevées aux sols lourds. Dans ce cas le fertilisant potassique devra être épandu tout le long de la rangée des arbres ou de manière circulaire autour des arbres. En dehors de cet espace il ne pourra pas être utilisé par les racines. Après la période de nouaison, un deuxième apport est effectué, en injectant le potassium dans le système d'irrigation sous forme de nitrate de potassium (300 – 500 g / arbre).
-Lorsque le potassium n'est pas déficient, une pulvérisation foliaire de 1,2% de nitrate de potassium peut induire une nouvelle végétation rapidement, donnant un résultat la semaine même.

NB : L'échec de réponse à la fertilisation phosphatée est un problème général dans les plantations d'olivier.

4. Exemples de programmes de fertigation appliqués à des oliveraies intensives

Un programme de fertigation doit être établi pour chaque parcelle en tenant compte des conditions du milieu et de l'état et du potentiel productif des arbres. Les exemples présentés ci-dessous sont utilisés dans différents pays Méditerranéens **(Haifa, 2016)** et en Tunisie **(Gargouri, 2012).**

La concentration de l'eau d'irrigation devra être de 0,3 g / L pour les plantes sensibles à la salinité, 1,0-2,0 g / L pour plantes semi-tolérantes (olivier) et 2,0-4,0 g/L pour les cvs., tolérants.

Exemple 1: Fertilisation de fond en pré-plantation d'une oliveraie à conduire sous irrigation fertilisante

Pour une oliveraie à planter selon la densité de 500 arbres/ha, sur un sol léger à moyen, le programme de fertigation suivant a été appliqué (région méditerranéenne).

Tableau 26. Quantités d'engrais recommandées pour des oliviers adultes plantés à 500 pieds/ha et conduits sous fertigation.

Elément fertilisant	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Apport (kg/ha)	4	125	40	16	13
Engrais	Nitrate d'ammonium (34% N)	Superphosphate (45% P_2O_5)	Sulfate de potassium (50% K_2O)	Dolomite (26% CaO)	Sulfate de magnesium (16%MgO)
Apport (kg/ha)	12	500	80	62	81

Après la plantation, les auteurs **(Haifa, 2016)** recommandent l'application des éléments N et K dans un rapport 1:1 durant les 3 premières années de culture. Le phosphore sera appliqué après la 3ième année sur la base de l'analyse foliaire.

Exemple 2 : Programmes de fertigation pour de jeunes oliviers

Le **Tableau 27** est un exemple de programme de fertilisation azotée pour de jeunes plantations d'olivier âgées de 1 à 5 ans plantées à des densités supérieures à 400 pieds/ha et conduites sous fertigation. Les taux d'application mentionnés devraient être utilisés comme lignes directrices, à ajuster en fonction des résultats de l'analyse foliaire.

Tableau 27. Quantités et taux d'azote recommandés pour de jeunes oliviers.

Année	Application annuelle de N	Taux recommandés en fonction de la saison (%)			Diamètre de la zone des racines (m)
	g/arbre	Printemps	Début de l'été	Fin de l'été	
1	100 – 200	25%	33%	42%	0,9
2	140 – 280	27%	36%	37%	2,7
3	200 – 400	30%	35%	35%	3,7
		Hiver	Printemps	Eté	
4	300 – 600	30%	33%	37%	4,5
5	300 – 600	30%	33%	37%	6,0

Source: Producing Table Olives, by Stan Kailis, David Harris, 2007.

Le programme présenté dans le **Tableau 28** a été appliqué pour de jeunes oliviers âgés de 1 à 3 ans avec des apports de N et de K en fertigation, associés à des pulvérisations foliaires**.**

Tableau 28. Besoins en N et K et quantités d'engrais appliquées pour des oliviers jeunes (kg/ha).

	Besoins		Apport
	N	K_2O	Urée
Année 1	50 - 80	50 -70	78 - 130
Année 2	80 - 120	70 -120	130 - 170
Année 3	120 - 150	120 - 145	170 - 240

(Haifa, 2016).

Exemple 3: Pour des oliviers en production, irrigués et alternants

Dans les plantations intensives (densité > 400 arbres/ha), produisant entre 15 et 50 kg d'olives/arbre (6 à 20 tonnes d'olives/ha), la fertigation est pratiquée tout au long de l'année en utilisant des engrais azotés solubles / urée 46%N, le nitrate d'ammonium 33,5% N, le nitrate de potassium (13% N et 46% K_2O), le nitrate de calcium (15,5% N et 26,5% CaO) et le mono-phosphate ammonium (12% N, 61% P_2O_5).

La fertilisation d'entretien consiste à apporter pour chaque arbre entre 500 et 1000 g de N, 150 à 350 g de P_2O_5, 250 à 350 g de K_2O et 200-400 g de bore en fonction du niveau de production. Ces quantités devront être ajustées en fonction de l'analyse foliaire.

Pour des oliviers produisant entre 3 et 5 tonnes d'olives / ha, le programme suivant a été appliqué avec 4 à 6 applications entre le début du printemps jusqu'au début de l'été.

Azote, apport de 190 kg/ha, K_2O : apport de 300 kg/ha et P_2O_5 : apport de 50 à 100 kg/ha si nécessaire. L'engrais recommandé est un engrais composé 17-10-27 à la dose de 1100 kg/ha.

Exemple 4: Fertigation d'une oliveraie à huile intensive

Pour une oliveraie à huile de 500 arbres / ha, plantée sur un sol léger à moyen avec un rendement attendu de 30 tonnes / ha, le programme de fertigation suivant a été appliqué.

Tableau 29. Programme de fertigation sous des conditions Méditerranéennes de culture pour une oliveraie à huile de 500 arbres/ha ayant un rendement de 30T/ha. Apports exprimés en kg/ha.

Application / mois	N	P_2O_5	K_2O
Février	25	91.5	0
Mars	38	61	0
Avril	48	57	0
Mai	76	57	12
Juin	89	29	35
Juillet	85		58
Aout	45		90
Septembre	26		92
Octobre	26		92

Exemple 5 : Fertigation d'une oliveraie sans fumure de fond préalable

Ce programme est basé sur un engrais composé 17-10-27 + micro-éléments (Haifa, 2016) et hydrosoluble.

Tableau 30. Quantités d'engrais recommandées par saison pour des oliviers jeunes

Age	Saison	Engrais composé 17-10-27 + ME (g/arbre)	Zone des racines (m)
1	Printemps	83	0,6
1	Début de l'été	99	0,9
1	mi-été	99 - 124	1,2
2	Printemps	217	2,1
2	Eté	236	2,7
2	Fin été	168	1,8
3	Hiver	246	3,4
3	Printemps	276	3,7
3	Eté	295	4,3
A partir de la 4ième année, l'engrais est appliqué sur la base de l'analyse foliaire			

Exemple 6. Fertigation d'une oliveraie adulte à haut rendement en fonction des stades phénologiques.

Pour une oliveraie intensive (500 arbres / ha) à haut rendement (≈30 tonnes / ha) conduite sur un sol léger à moyen, le programme de fertigation suivant est préconisé à titre indicatif selon la saison. Les auteurs recommandent d'arrêter la fertigation 50 jours avant la récolte et de diviser les doses en applications hebdomadaires.

Tableau 31. Programme de fertigation de l'olivier intensif hautement productif selon la saison.

	Nutriments (kg/ha)			Engrais (kg/ha)	
Période d'application	N	K_2O	P_2O_5	MAP (12-61-0)	Ammonium nitrate (34-0-0)
Printemps-début Eté	125-185	200-240	246-300	320-390	190-200
Post-récolte	75-115	-	150-180	-	50-130
Total	200-300	200-240	395-480	320-390	240-330

Source: Haifa (2016)

Si le programme est établi mensuellement, les mêmes auteurs recommandent le calendrier suivant avec les mêmes conditions culturales que dans l'option précédente **(Tableau 32).**

Tableau 32. Programme mensuel de fertigation sous des conditions de culture Méditerranéennes d'une oliveraie intensive conduite en fertigation. Apports exprimés en kg/ha.

Application par mois	MAP (12-61-0)	Nitrate d'ammonium (3,5-0-0)
Février	150	21
Mars	100	78
Avril	94	111
Mai	94	183
Juin	47	219
Juillet	0	205
Aout	0	60
Septembre	0	0
Octobre	0	0

Source: Haifa (2016). MAP: Mono-ammonium phosphate.

<u>Exemple 7</u> : Programme de ferti-irrigation d'une parcelle d'olivier selon l'âge et la période de l'année (Gargouri, 2012)

<u>A titre d'exemple</u>, le **Tableau 33** présente un programme d'irrigation fertilisante d'une parcelle d'olivier à huile plantée à une densité de 204 arbres/ha selon l'âge **(Gargouri, 2012).** Les besoins rapportés dans ce tableau sont exprimés pour les éléments N, P_2O_5 et K_2O à l'état pur. De ce fait il est nécessaire de prendre en considération la concentration de ces éléments dans les fertilisants commerciaux.

Tableau 33. Programme de ferti-irrigation d'une parcelle d'olivier selon l'âge et la période de l'année**.** Apports exprimés en g/arbre.

		Age (an)								
Mois	Elément	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	>10
Février	Azote	1	2	5	30	60	120	150	190	220
	P_2O_5	2	2	5	11	10	25	45	100	125
	K_2O	2	2	4	10	20	35	65	90	110
Mars	Azote	1	4	6	35	70	140	170	210	240
	P_2O_5	2	5	5	18	35	70	160	180	205
	K_2O	2	4	7	20	35	70	125	180	220
Avril	Azote	2	4	7	40	80	160	200	250	290
	P_2O_5	2	5	5	18	35	70	160	180	205
	K_2O	2	4	10	20	35	75	125	180	220
Mai	Azote	2	5	7	45	90	180	220	275	320
	P_2O_5	2	2	5	11	20	45	100	115	125
	K_2O	4	7	10	20	35	70	125	180	220
Juin	Azote	3	6	10	60	120	240	300	375	430
	P_2O_5	2	2	5	11	20	45	100	115	125
	K_2O	4	10	15	30	55	110	255	360	440
Juillet	Azote									
	P_2O_5									
	K_2O	2	5	9	20	35	70	125	180	220
Aout	Azote									
	P_2O_5									
	K_2O	2	5	9	20	35	70	125	180	220
Septembre	Azote	2	7	8	50	100	200	250	300	345
	P_2O_5	2	2	5	5	10	22	55	70	70
	K_2O	2	20	20	55	110	220	510	710	855
Octobre	Azote	2	7	6	35	70	140	170	210	240
	P_2O_5	2	-	2	2	5	10	20	20	20
	K_2O		20	15	55	110	220	510	710	855
Novembre	Azote	2	5	6	35	70	140	170	210	240
	P_2O_5	2			2	5	10	20	20	45
	K_2O		4	10	35	70	145	325	455	545

Source : Gargouri (2012).

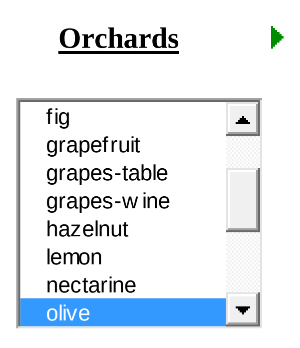
5. Exemples en ligne de programme de fertigation (www.haifa-group.com)

L'adresse « http://www.haifa-nutrinet.com/default.asp » accède à une application qui permet de déterminer les taux d'engrais recommandés en fonction du rendement attendu en olives dans les conditions réelles et des reliquats de l'antécédent cultural. **Les calendriers fournis ont été développés pour des conditions autres que les nôtres, c'est pourquoi l'analyse foliaire et l'estimation des exportations restent nécessaires pour ajuster les valeurs recommandées.**

Exemple de l'application :

Accéder à : http://www.haifa-nutrinet.com/default.asp

- Choisir le type de culture et de plantation



- Choisir : 'Primary level' ou 'Advanced level' selon le niveau de précision du programme recherché. Dans le second cas, des données supplémentaires sont nécessaires.

Choisir les données nécessaires

	Niveau primaire	**Niveau** avancé
Sortie	Programme détaillé de nutrition de la culture	Programme très détaillé de nutrition de la culture
Données nécessaires	Type de sol Rendement attendu	Type de sol Rendement attendu C.E.C. Analyse du sol

Un tableau de ce genre s'affiche :

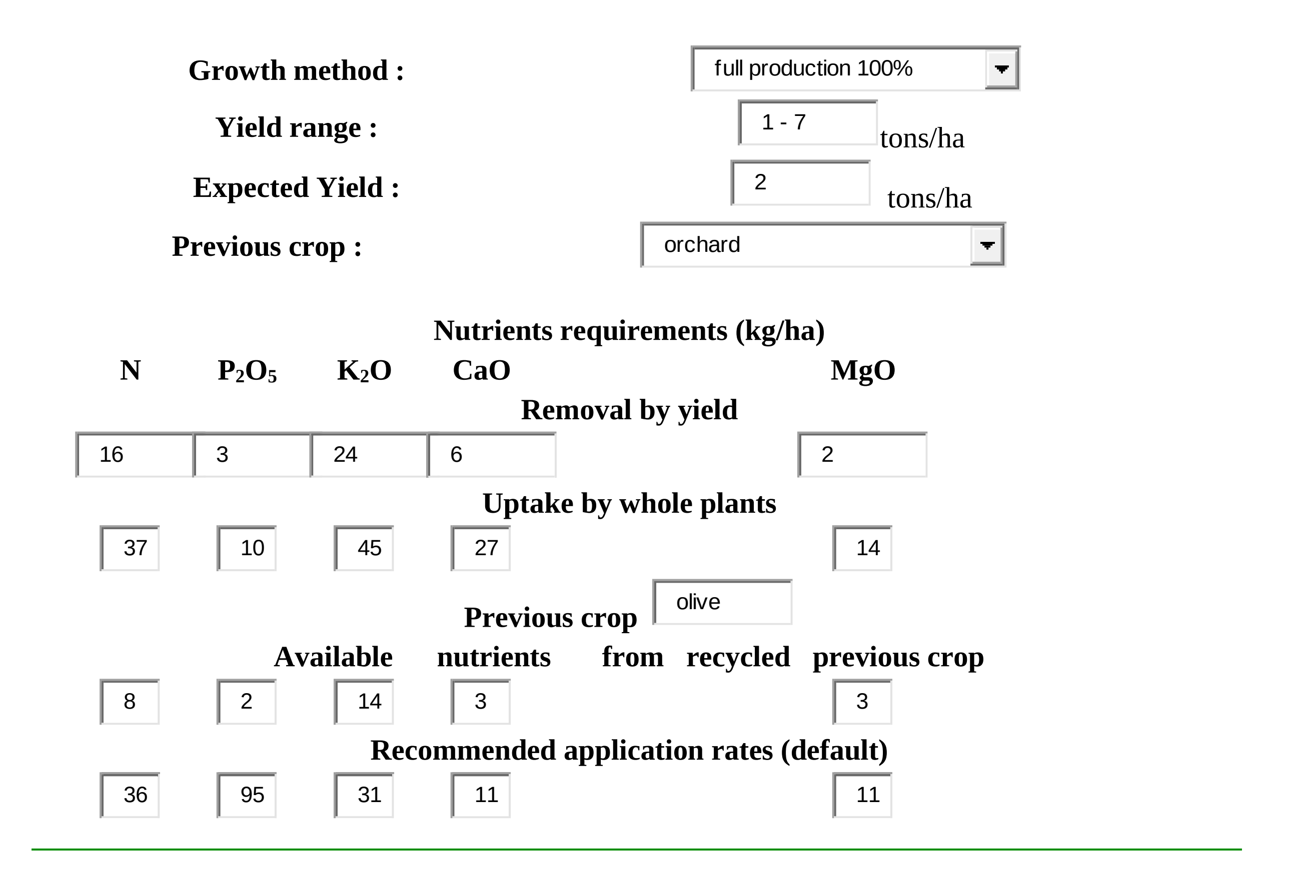
Méthode de croissance :	
Niveau de rendement :	1 - 7 tons/ha
Rendement attendu:	tons/ha
Antécédent cultural :	

Besoins en nutriments (kg/ha)

N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Exportations par la production				
Prélevé par toutes les plantes				
Antécédent cultural				
Eléments disponibles par le recyclage des antécédents culturaux				
Taux recommandés pour application (par défault)				

- Choisir entre: 'Full production/ Production 70%/After planting/First production'
- Le niveau de production attendu
- L'antécédent cultural / résidu à recycler
- Une fois que vous avez fait entrer le rendement prévu dans le tableau, les taux d'application recommandés seront affichés. Un calcul rapide fournit un ordre de grandeur des exportations et les besoins en N, P_2O_5, K_2O, CaO et MgO.

Avec l'option (full production' et un antécédent de blé, on a les valeurs sous indiquées (exemple).



Pour un rendement attendu de 2 T/ha, les besoins sont rapportés dans le tableau suivant :

Rendement attendu		**2**		**tonnes / ha**
		Besoins en nutriments (Kg / Ha)		
N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
16	3	24	6	2
		Prélevé par la plante		
37	10	45	27	14
		Nutriments fournis par l'antécédent cultural		
8	2	14	3	3
		Dose recommandée		
36	95	31	11	11

D'autres options sont possibles comme l'entrée des données relatives aux analyses du sol, au stade de développement, au mode d'irrigation……pour mieux cerner les quantités de nutriments exportées et les doses à apporter.

Des essais sont en cours pour voir si cette application peut être validée pour les conditions tunisiennes basée sur une comparaison des exportations fournies par cette application et calculées à partir de teneurs réelles.

6. Nutrition au sol par des engrais à libération contrôlée (Haifa, 2016)

Le concept de ***Teaspoon-Feeding*** s'applique également à l'olivier par l'utilisation de composés contenant de l'azote, de phosphore et de potassium avec une longévité de 2 à 8 mois. Ces produits libèrent progressivement et régulièrement les nutriments aux plantes en fonction des besoins de l'olivier tout au long de la saison de croissance. Les nutriments sont fournis en une seule fois mais libérés selon le besoin spécifique de l'olivier assurant un développement optimal. Leurs avantages sont nombreux :

- réduction du travail sur le terrain (réduire les taux d'application).
- baisse des coûts d'application
- réduction du compactage du sol.
- réduction des pertes d'engrais par lixiviation, volatilisation ou fixation dans le sol
- disponibilité de nutriments tout au long du cycle de croissance est assurée.
- utilisation plus efficace des engrais sans gaspillage,
- pas de pollution de l'air ou du sol.
- fertilisation totalement indépendante de l'irrigation
- Non besoin de maintenir des systèmes de dosage sophistiqués

Le produit composé 17-9-16 + 2MgO en est un exemple, il est appliqué à la fin de l'hiver avant le démarrage de la croissance végétative (fin février - mi-mars).
* Oliviers extensifs : application de 3 - 7 kg / arbre
* Oliviers intensifs : application de 300 à 400 kg/ha de produit.





Chapitre 7

TRAVAUX DE RECHERCHES MENES EN TUNISIE ET AUTOUR DE LA MEDITERRANNEE

Les résultats **d'une vingtaine d'années de recherches** menées autour du bassin méditerranéen sont ci-dessous synthétisés.

Romero-Gámez et al., (2017) ont entrepris une étude sur la reconversion des oliveraies traditionnelles en vergers intensifs. L'objectif de l'étude étant de comparer les impacts environnementaux de la diversité des systèmes de conduite. La méthodologie de " Life Cycle Assessment" a été utilisée pour calculer et évaluer les impacts potentiels environnementaux associés à la production d'olives. L'étude a été menée en utilisant 8 systèmes traditionnels, 3 systèmes intensifs et un système hyper intensif. Les résultats ont montré que la fertilisation est la composante la plus influente et par conséquent elle doit être prise en compte en priorité pour optimiser le système de production. Les systèmes qui montrent l'impact le plus large sont : le système irrigué, le système intégré et le système hyper intensif en dépit de sa haute productivité**.**

Francisco Albornoz (2016) a étudié l'impact de l'excès de la fertilisation azotée sur les cultures à court et à long termes tel que la réduction de la qualité des produits, évaluée par les caractéristiques organoleptiques et les composés liés à la santé, tels que les nitrates, en plus des pertes de rendement. Cette revue de littérature résume la recherche des 20 dernières années et décrit la réponse des cultures à des taux élevés de fertilisation azotée, avec une analyse détaillée des conditions et des pratiques qui conduisent à l'accumulation de nitrates dans les parties de la plante. L'auteur recommande la réduction des apports des engrais et l'utilisation de la fertigation ou des engrais à libération contrôlée qui présentent l'avantage de fournir aux cultures les quantités de fertilisants dont elles ont besoin au bon moment. Ceci va réduire la contamination des cultures et du sol en NO_3 même si la réduction des apports en N peut occasionner une baisse des rendements. Les bio fertilisants ont également des effets positifs et réduisent l'accumulation de NO_3. Les producteurs sont encouragés à réduire et à appliquer efficacement les engrais azotés à leurs champs pour réduire les effets négatifs sur l'environnement et d'accroître la durabilité de leurs agro écosystèmes. En tant qu'avantage supplémentaire, les producteurs peuvent commercialiser des produits biologiques avantageux pour la santé. Les programmes actuels devraient cibler le développement de cultivars avec une efficacité d'utilisation élevée de N pour que les applications d'engrais azotés soient réduites sans réduction des rendements.

Des essais récents ont été menés par **Dbara et al., (2016)** durant 4 années consécutives, portant sur l'amendement potassique d'une oliveraie de table cv., 'Picholine' cultivée à 6*8m sous climat semi-aride supérieur (localité de Bouficha, Tunisie), présentant des symptômes de carences. Les oliviers ont été amendés en potasse avec des quantités répondant à 100% de leurs besoins, en se basant sur les exportations moyennes **(Loussert et Brousse 1978).** Certains arbres ont reçu 0,7 kg de 'solupotasse' (1 kg en contient 0.5 Kg de K_2O) en application au sol et d'autres en pulvérisation foliaire, fractionnés en 2 apports. Les résultats relatifs aux paramètres de production sont comparés à ceux du témoin **(Tableau 34).** Les résultats ont montré que l'amendement en potasse a amélioré le rendement et le pourcentage de pulpe. Un indice de maturité plus important a été observé au niveau

des olives récoltées sur les arbres recevant le potassium selon les deux modes d'apport (sol et foliaire). Les feuilles recevant le traitement 100Kf (potassium en pulvérisation foliaire) ont présenté des teneurs plus élevées en potassium. La pulvérisation foliaire de la potasse a été plus profitable que son application au sol.

Tableau 34. Paramètres de production obtenus chez l'olivier Arbéquina amendé en potasse (0 K Témoin sans apport de 'solupotasse', 100 K_{sol} apport de 100% des besoins en application au sol, 100 $K_{foliaire}$: apport de 100% des besoins en pulvérisation foliaire).

	0 K	100 K sol	100 K foliaire
Rendement moyen (Kg)	11,1	11,2	14
Diamètre (mm)	17	18,75	18,5
Indice de maturité	1,2	5,3	6,8
Pourcentage de la pulpe (%)	86,5	89	89,5
K (% MS)	1,19	1,10	1,39

Source : Dbara et a., (2016).

Le traitement d'oliviers intensifs (3x7m) âgés de 8 ans de la variété Barnea (4 applications foliaires) à trois stades phénologiques différents (inflorescence, après nouaison et après durcissement du noyau) par un engrais NPK multiple (15-7-30) + 2MgO enrichi en micro nutriments (Bore à 2%) a permis une augmentation de la taille des fruits de 2,3 à 2,6 g et de l'indice de maturité qui est passé de 2,5 à 3,25. Le rendement moyen précédant les traitements était de 15 T / ha / an. Après traitement le rendement a augmenté de 11 à 43% selon la dose appliquée. L'application effectuée au cours de la période de durcissement des noyaux est celle qui a donné le meilleur rendement **(Erel et al., 2008).**

Les essais conduits en Italie sur l'olivier cv. Mission ont montré que le rendement en olives a quadruplé en augmentant l'amendement azoté de 0,225 à 1,35 kg/arbre, atteignant les 100 kg d'olives/arbre **(Tableau 35).** Cependant l'excès d'azote a entrainé son accumulation dans les fruits, la réduction du contenu en polyphénols et la stabilité oxydative de l'huile. La part des fruits destinés à la mise en conserve a également baissé.

Tableau 35. Effet de la fertilisation azotée sur le rendement et la taille des fruits en année de forte charge en olives, cv. Mission, (Palermo, Italie).

Quantité de N appliquée (kg / arbre)	Rendement (kg / arbre)	Part du rendement convenable pour la conserve (%)
Témoin	22,1	97
0,225	77,4	92
0,450	88,2	63
1,350	101,7	43

Source: H.T. Hartmann, UC Davis – Haifa, (2016)

La fertilisation N et K augmente généralement la teneur en huile d'olive ainsi que la taille des fruits et le rapport pulpe sur noyau. L'objectif de ce travail était d'examiner si l'augmentation de la teneur de fruit en huile se produit via l'augmentation de la concentration de l'huile dans la pulpe, ou via une fraction accrue de pulpe dans le fruit. **Rosati et al., (2015)** ont mené un travail sur des oliviers Leccino situés en Italie centrale à 500 m du niveau de la mer, et plantés en 1992 avec un espacement de 6 × 5m. Le verger a reçu 30 tonnes de fumier ha^{-1} à la plantation sans aucun autre apport. Le sol a été géré avec un paillis vert de végétation naturelle fauchée deux fois par an en mai et en juin, et conservée en place. En 2009, les oliviers (3 arbres sélectionnés aléatoirement) ont été pulvérisés

avec l'équivalent de 180 kg d'urée-N/ha, répartis en trois doses égales en avril, avant la vague de croissance, en juin, au cours de la nouaison et en septembre. En avril, le sulfate de potassium a été appliqué en pulvérisation foliaire à la dose de 100 kg de K_2O par hectare. Le poids frais et sec des fruits, de la pulpe, l'huile de pulpe, la teneur en eau, la fermeté de la pulpe et l'indice de maturité des fruits ont été mesurés sur des échantillons de 50 fruits tout au long de la croissance des fruits provenant d'arbres fertilisés et témoins. Les résultats ont montré que les oliviers fertilisés ont eu un poids plus élevé des fruits, à la fois frais (+ 23% en moyenne) et sec (+ 17% en moyenne). Le rapport pulpe / noyau a également augmenté significativement avec la fertilisation (+23%, à la fois frais et sec). Les fruits récoltés sur les oliviers fertilisés ont eu une teneur en huile (%MS) significativement plus élevée (+ 9% en moyenne). La teneur en eau était également et significativement plus élevée dans le fruit des plantes fertilisées (+ 5% en moyenne), mais pas dans la pulpe. La fertilisation n'a pas affecté la maturation des fruits (fermeté, couleur et pulpe).

En Espagne, la fertigation hebdomadaire de l'olivier Arbequina conduit en hyper- intensif avec des apports réguliers de deux doses d'azote (solution azotée de 16% acide uréique, 8% ammonium et 8% nitrate) de 0 et 50 kg N ha^{-1} et deux doses de potassium de 0 et 100 kg de K_2O/ha (solution potassique 0-0-15) **(Rufata et al., 2014)** a conduit à une amélioration significative de la productivité de l'oliveraie. L'effet du potassium n'a été perceptible que lorsque le potassium est appliqué l'année qui précède. Les niveaux élevés de croissance et de productivité ne sont obtenus que dans les blocs correctement amendés en azote.

Au Portugal, **Cameira et al., (2014)** ont utilisé un modèle *Root Zone Water Quality Model* (RZWQM2) pour étudier l'impact de la fertigation sur la culture intensive de l'olivier Arbequina. Le modèle a fourni une prédiction acceptable de l'évapotranspiration, de l'humidité du sol et des contenus en nitrates. Le modèle a montré que les pratiques en cours (de fertigation) entrainent une perte de 57% de l'eau d'irrigation par drainage, une perte de l'azote de 71% par lessivage et de 5% par dénitrification. Environ 64% des besoins de l'olivier en N sont satisfaits par la matière organique. Le modèle a été aussi utilisé pour prédire l'impact de la pleine irrigation (FI) et de l'irrigation déficitaire régulée (RDI75, RDI50) sur le drainage et le lessivage de N. Comparés aux pratiques en cours, FI a occasionné une baisse du drainage et du lessivage de N de 47% et 90% respectivement. Le traitement RDI75 est le plus approprié pour les agro-systèmes étudiés en relation avec FI : économie de l'eau de 13%, réduction du lessivage de 15%, augmentation de la minéralisation de la matière organique de 19%, ce qui optimise le prélèvement de N. Ces résultats montrent que l'N doit être appliqué selon les besoins de la plante sur la base de l'analyse foliaire (indicateur en temps réel) ou des mesures de la chlorophylle.

En Espagne, une grande partie de l'oliveraie est cultivée sur les sols calcaires, dont la plupart ont le potentiel d'induire une chlorose en fer (Fe). Dans le travail **de Sánchez-Rodríguez et al., (2013)**, l'effet de fertilisation au phosphore sur la chlorose ferrique a été étudié sur les cultivars *Arbequina, Ocal, Manzanilla et Picudo* cultivés dans quatre vergers situés dans le sud de l'Espagne avec des sols très calcaires et pauvres en oxydes de Fe (principale source de Fe pour la plante)**.** Les résultats ont montré que l'application de P aux sols diminue la concentration en chlorophylle des feuilles (estimée par SPAD) et leur poids, particulièrement chez les cvs., *Manzanilla et Picudo.* Ces différences entre les cultivars étaient dues à la différence des teneurs des sols en oxyde de fer. La réponse des arbres à l'application de P n'a pas été rapide probablement à cause des réserves d'éléments nutritifs dans les arbres. Cela peut aussi expliquer pourquoi le volume de la canopée, le diamètre du tronc et le rendement n'ont pas été affectés par la fertilisation au phosphore. Les résultats de cette étude soulignent la nécessité de freiner l'application de P aux sols induisant la chlorose ferrique des oliveraies intensives.

Ben Khelil et Sanaa (2013) ont étudié durant trois années consécutives (2006-2007-2008) le comportement de jeunes oliviers irrigués, cv., *Arbequina (*Nord de la Tunisie), vis à vis de

l'amendement en azote (N), en phosphore (P_2O_5) et en potassium (K_2O), appliqués à différents stades phénologiques (inflorescence, durcissement des noyaux, maturité). Les résultats ont montré une amélioration significative de l'état nutritionnel des arbres en micro et macro éléments. Les fruits qui ont reçu les traitements combinés NPK ont montré une meilleure assimilation du potassium, des valeurs plus élevées du poids moyen des fruits, du contenu en huile et de rendement. **Ben Khalil et al., (2009), Ben Khalil (2010) et Ben Khalil et al., (2010a, 2010b)** se sont également intéressés à l'évaluation du statut nutritionnel de l'olivier en se basant sur l'analyse foliaire des inflorescences. Les résultats ont montré des corrélations significative entre les concentrations des feuilles et celles des inflorescences obtenues au cours du stade de durcissement des noyaux pour N (r=-0,604*), K (r=-0,527*), P (r=-0,760**) et Ca (r=-0,824**).

Tekaya et al., (2013 a et b) ont conduit un essai de fertilisation foliaire de l'olivier pour évaluer l'impact de divers engrais sur la qualité de l'huile (teneur en acides gras libres, valeur du peroxyde et caractéristiques spectrophotométriques UV, profil des acides gras, phénols totaux, o-diphénols et composition en phytostérols de l'huile d'olive). Les 6 applications foliaires ont été réalisées sur deux années successives et comprenaient les traitements: TC (contrôle, sans nutrition foliaire), T1 (riche en azote, appliqué au début de végétation, 10 jours plus tard et 20 jours plus tard), T2 (riche en bore, magnésium, soufre et manganèse, appliqué au début de floraison et 10 jours plus tard), T3 (riche en phosphore et en potassium), T4 (riche en phosphore et en calcium), T5 (application de T1 et T2) et T6 (application de T1, T2, T3 et T4). Les applications foliaires ont été réalisées pendant deux saisons de croissance successives et les huiles ont été extraites et analysées à la fin de l'expérience. Les traitements T3 et T6 ont amélioré la stabilité de l'huile en augmentant la teneur en antioxydants, tandis que T2 et T4 ont eu un effet négatif sur le profil antioxydant des huiles. Les résultats ont montré que le total des phénols avait la valeur la plus élevée (R = 0,937, p= 0,001), suivi par l'a-tocophérol (R = 0,775, p= 0,001) et le rapport oléique / linoléique (R = 0,625, p=0,05). Aucun effet n'a été trouvé sur les caractéristiques physicochimiques générales ou la composition en acides gras. La fertilisation foliaire a causé une diminution significative des teneurs en polyphénols et en o-diphénol. La teneur totale en stérols n'a pas été affectée par les traitements foliaires. Cependant, la composition de l'huile en phytostérols en particulier son taux de β-sitostérol est nettement amélioré après application foliaire d'éléments nutritifs. L'analyse en composantes principales de la composition des huiles en phytostérol a montré une discrimination entre le témoin et les différents traitements.

Tekaya et al., (2016) se sont également intéressés à la modification de la composition chimique des feuilles d'olivier en réponse à la fertilisation foliaire. Les feuilles ont été prélevées sur des arbres ayant reçu les 6 traitements précédemment énumérés. L'analyse minérale des feuilles d'olivier a montré une augmentation des concentrations de la plupart des nutriments avec des changements dans la composition biochimique: une augmentation de la teneur en chlorophylle, une réduction des phénols totaux et des concentrations d'oleuropéine couplées à une augmentation du niveau d'hydroxytyrosol, en plus d'une augmentation du contenu en sucres totaux et de la plupart des sucres individuels. Les changements ont également affecté la translocation des formes de sucres (mannitol, saccharose et raffinose). Ceci suggère une amélioration de la performance physiologique et de la capacité photosynthétique des oliviers traités. Les résultats de l'étude montrent la possibilité d'améliorer l'accumulation de certains composés bioactifs, tels que l'hydroxytyrosol et le mannitol, via l'apport de nutriments foliaires chez certaines plantes d'intérêt médicinal

L'azote (N) et le bore (B) sont des éléments mobiles dans le sol. Par conséquent, l'application de ces nutriments est généralement effectuée annuellement, en dose fractionnée pour N et tous les 3 ou 4 ans pour le bore. Ainsi, les effets de ces éléments sur le rendement en olives, les teneurs en N et B des feuilles, ainsi que sur les N et B disponibles des sols ont été étudiés lors d'un essai de terrain dans une oliveraie situé au nord-est du Portugal durant quatre saisons consécutives **(Rodrigues et al., 2011)**. Les traitements d'engrais consistaient en: le contrôle, qui était un plan complet de fertilisation où N et B étaient inclus (traitement N + B); -N traitement, avec N exclu du plan de fertilisation; et -B

traitement, avec B exclu. Le rendement en olives a diminué significativement dans le traitement -N par rapport au témoin. Une légère diminution du rendement du traitement -B par rapport au contrôle a été observée. Les concentrations de N et B dans les feuilles ont diminué significativement dans les traitements -N et -B, respectivement, par rapport au traitement N + B. Les teneurs des sols en N et B disponibles à la fin de l'expérience étaient significativement plus faibles dans les traitements -N et -B, comparativement au témoin N + B. Les résultats ont montré une diminution continue des concentrations de N et B dans les feuilles, ce qui reflète la réduction de N et B disponibles dans le sol dans les traitements sans nutriments respectifs. Par conséquent, il semble prudent de recommander des ajustements aux taux de N et de B chaque année pour éviter la réduction des rendements et améliorer l'efficacité de l'utilisation des nutriments.

Larbi et al., (2011) ont montré dans un essai entrepris au Nord de la Tunisie, que l'application de traitements foliaires de bore (300 mg L^{-1}, Solubor Début floraison) pendant deux années successives à deux dates différentes, avant la floraison et juste après la nouaison, sur des oliviers ne présentant pas de symptômes de carence, a augmenté le niveau de B foliaire. Ces applications n'ont pas affecté significativement la croissance végétative. L'effet significatif du bore n'a été perçu qu'au cours de la deuxième année d'application. Le rythme de la floraison a augmenté de 20 à 30% et le rendement de 27%.
L'application foliaire de N, K et B donne une réponse très rapide avec une augmentation substantielle des teneurs foliaires **(Vossen, 2009).** Les essais n'ont pas montré d'effet significatif sur l'alternance de la production.

Policardo et al., (2008) ont mené un essai sur de jeunes oliviers cv., 'Nocellara del Belice' de huit ans plantés dans la région centrale de la Sicile pour évaluer leur réponse à la fertilisation foliaire. Différents types/combinaisons d'engrais minéraux foliaires et organiques ont été utilisés : Floral 20-20-20 (minéral N, P, K, + macroéléments; FLO), Alga (extrait d'algues brunes; ALG), FLO+ALG, Azomin (N organique, aminoacides et peptides; AZO), Supernat93 (engrais N-K organique, résidus distillés; SUP), et comparés au témoin. Les traitements ont eu lieu durant l'été (4 fois). Le rendement, les paramètres végétatifs (circonférence de la frondaison) ont été mesurés au printemps suivant. Les traitements AZO et SUP ont eu des productions plus élevées que celles obtenues chez le témoin et les arbres recevant le traitement ALG. Le nombre d'inflorescences par pousse a été plus grand au niveau des oliviers FLO et ALG et plus faible au niveau du témoin. Le pourcentage d'avortement ovarien et la chute de juin ont été plus faibles au niveau des arbres AZO et plus élevés pour les oliviers ayant reçu les traitements FLO+ALG and ALG. L'engrais ALG est le seul qui a provoqué une forte chute de fruits à la récolte. La croissance des pousses a été considérablement réduite au niveau des arbres ALG et FLO, alors que les feuilles des arbres AZO ont présenté des feuilles avec de faibles poids spécifiques. La fertilisation foliaire organique avec les engrais AZO et SUP ont donné en général des niveaux de production et de croissance plus performants que chez le témoin ou les arbres fertilisés aux engrais foliaires en réduisant le taux d'avortement ovarien et la chute de juin et en augmentant la croissance des pousses.

Erel et al., (2008) ont montré que l'injection d'engrais N, P, K à des teneurs respectives de 0,4-14,1 mM, de 0,2-5,33 mM et de 0,01-0,62 mM dans l'eau d'irrigation d'une oliveraie cv., Barnea a augmenté les teneurs des feuilles en éléments nutritifs lorsqu'elle est appliquée à faibles doses. La nouaison est affectée par les engrais N et P, alors que la charge en olives est maximale pour des teneurs foliaires de 0.06 mol/kg de P et 0,35 mol /kg de K dans les feuilles. Elle augmente lorsque les teneurs en azote augmentent de 0,7 à 1,3 mol/kg et diminue au-delà de 1,5mol N /kg**.**

Morales-Sillero et al., (2007 ; 2008) ont montré que la fertigation d'oliviers Manzanilla de 14 ans plantés à 7m*7m à la dose de 600g N, 150 g P et 450 g / saison de la mi-mai jusqu'à fin septembre, augmente significativement le poids frais et sec des olives, ses diamètres et le rapport pulpe/noyau (+19%), ce qui est avantageux pour les olives de table. Le contenu en eau est plus élevé dans les fruits

traités comparativement au témoin. Ces auteurs ont montré que 60% de la croissance du fruit et 90% de celle du noyau se produisent dans les 12 semaines qui suivent la pleine floraison indépendamment des apports d'engrais.

Morales-Sillero et al., (2008) ont évalué la réponse des oliviers Manzanilla de Sevilla-Spain à différents traitements de fertigation : Témoin sans fertilisation, traitements T200, T400 et T600 recevant respectivement 200, 400 et 600 g N /saison d'irrigation en utilisant un engrais composé 4N–1P–3K. La fertigation est appliquée quotidiennement durant cinq années consécutives. Les résultats ont montré que le contenu des fruits et le rendement en huile ont augmenté linéairement et significativement avec la quantité de fertilisants appliquée et ce suite à l'augmentation du nombre de fruits et à la disponibilité en potassium. Les olives récoltées sur les arbres recevant les plus grandes quantités de fertilisants ont des valeurs plus faibles d'antioxydant, de stabilité oxydative et de contenu en acide oléique. Les teneurs en acides gras polyinsaturés / acide linoléique ont, par contre diminué.

Une étude effectuée en Grèce septentrionale sur des oliviers irrigués avec une eau enrichie en bore (3,6 mg/L), a montré une évolution de B similaire chez les variétés Chondrolia Chalkidikis et Amphissis **(Chatzissavvidis et al., 2007)**. La concentration maximale a été de 175 mg/kg MS pour les feuilles de Chondrolia Chalkidikis et 70 mg/kg MS chez Amphissis. Celle des fleurs était supérieure à celle des feuilles. Le nombre de fleurs par inflorescence a baissé, passant de 13,4 à 10,8 pour Chondrolia Chalkidikis et de 21,5 à 19,7 pour Amphissis **(Chatzissavidis et al., 2004).** Cette diminution est expliquée par une teneur faible en N (1,53%) pendant la floraison. La concentration des fruits en bore a augmenté de 160% pour Chondrolia Chalkidikis, avec une valeur maximale de 122 mg/kg. Ces auteurs ont également montré que la forme de N utilisée (NO_3, NH_4) a modifié les niveaux d'absorption des autres nutriments **(Chatzissavvidis et al., 2007).**

Fernandez-Escobar et al., (2006) ont mené des essais de fertilisation intégrée dans 2 localités en Espagne (Cordoba et Jaen) qui consistent à appliquer annuellement de 0 à 1,5 kg de N/arbre, 50% au sol et 50% par pulvérisation foliaire. Les analyses effectuées après 3 ans ont montré un contenu des fruits en N élevé, une baisse des teneurs en antioxydants (polyphénols) résultat de l'excès de N et une réduction de la stabilité oxydative de l'huile d'olive Picual. Le niveau des tocophérols (alpha) a par contre augmenté. La fertilisation azotée n'a eu d'impact ni sur le niveau des pigments (chlorophylle – caroténoïdes) ni sur la composition en acides gras.
Fernández –Escobar (1997 et 2004), Fernández-Escobar et Marín (1999), Fernández-Escobar et al., (1999) se sont également intéressés à la variation des teneurs en nutriments en fonction de la saison et de l'alternance de la production ainsi que leur impact sur la longévité des ovules et la qualité des fleurs **(Fernández-Escobar et al., 2008).**

Dans un essai réalisé dans la région de Sfax sur des oliviers Chemlali conduits en pluvial sous 200 mm de pluie annuelle, **Ben Mimoun et al., (2004)** ont estimé les besoins en potassium sur la base d'un rendement de 200 kg/arbre. Deux traitements de nitrate de potassium ont été appliqués par pulvérisation foliaire : F50 (couverture de 50% des besoins estimés) et F100 (couverture de 100% des besoins estimés). Les applications ont été réalisées pendant le gonflement des bourgeons de fleurs (30%), pendant la deuxième phase de développement des fruits (40%) et à la véraison (30%). Les applications au sol (S) ont été réalisées de manière à couvrir les besoins des arbres de 100 et 200%, avec un témoin sans fertilisation. Les résultats ont montré que le traitement S100 a donné une surface foliaire (SF de 3,94 cm^2) similaire à celle du témoin (3,89 cm^2). Les applications foliaires ont montré une augmentation significative de la surface foliaire (SF = 4,38 cm^2). Le traitement foliaire 100% a accéléré la maturation des olives, a augmenté significativement le poids des fruits, le ratio pulpe/noyau et le niveau des polyphenols dans les huiles, atteignant respectivement 0,81 g, 3,65 et 39 ppm. Le contenu en huile a été de 21,7% pour le témoin, 20% pour les traitements foliaires, 21,3% pour S100 et 22% pour S200, qui sont significativement différents. La fertilisation n'a pas montré

d'effet sur la composition acidique. L'acidité a augmenté avec les pulvérisations foliaires (0,26% et 0,32% contre 0,24% pour le témoin). La fertilisation potassique a augmenté significativement le contenu foliaire en K. les feuilles d'arbres ayant reçu les 2 traitements foliaires sont plus riches en N et K, plus larges en surface et ont une meilleure capacité photosynthétique qui s'est répercutée positivement sur le développement et la valeur des fruits. Le rapport chair / fruits et le poids des fruits sont plus élevés dans le traitement F100. L'effet des traitements potassiques est illustré dans le tableau 36.

Tableau 36. Effet des différents traitements potassiques sur les caractéristiques pomologiques.

Traitement	Poids des olives (g)	ratio L/D	Contenu en huile (%)
Témoin	0,61 a	2,94 a	21,68 bc
F50	0,66 b	3,19 b	20,30 a
F100	0,81 d	3,65 c	20,18 a
S100	0,70 c	3,25 bc	21,26 b
S200	0,69 bc	3,10 b	22,01c

F: pulvérisation foliaire – S:application au sol. Doses : 50% - 100% et 200% des besoins déterminés sur la base de l'analyse foliaire.

Dans le but d'améliorer la productivité de l'olivier de table "Meski", variété locale, des pulvérisations foliaires d'urée (46% d'azote) ont été effectuées sur des oliviers âgés de 10 ans (Borj El Amr), à la floraison, à la nouaison et à la sclérification du noyau durant 4 années consécutives **(Msallem et Charfi-Masmoudi, 1997).** Les doses utilisées ont varié de 0,6% à 2%. Les résultats ont montré que le meilleur traitement à l'urée est de 2%, correspondant à deux applications, la première à la nouaison et la seconde à la sclérification du noyau, toutes les deux à la dose de 2%. Le traitement a augmenté les pourcentages de sclérification et de maturation des olives. Il a également amélioré la production par arbre, le poids moyen de l'olive, sa longueur et le pourcentage de chair, mais il n'a pas induit d'effet dépressif notable sur la croissance des pousses.



Chapitre 8

RECOMMANDATIONS

La remarque générale est de ne pas appliquer de nutriments à moins que le diagnostic de la feuille ne le justifie. La seule exception est le fer, parce que l'analyse des feuilles n'est pas efficace pour diagnostiquer la carence en fer **(Van der Gulik et Tam, 2006).** Les recommandations sont ci-dessous présentées :

1. Le déséquilibre ionique des éléments minéraux du sol provoque des carences induites ou des toxicités. L'excès d'engrais est encore plus dangereux pour une culture qu'un manque. Il est donc conseillé de faire une analyse de sol et des feuilles dans un laboratoire spécialisé avant d'appliquer les engrais, de se conformer aux prescriptions du fabricant et de nettoyer les appareils.

3. L'utilisation d'un système d'irrigation goutte-à-goutte pour la distribution d'engrais peut donc nécessiter des mesures d'entretien particulières, comme la chloration ou l'utilisation d'algicides ou de bactéricides, ou un traitement préalable de l'eau d'irrigation avec des agents chélateurs.

4. Choix des engrais : choisir les plus solubles parmi eux. Il ne faut jamais mélanger un nitrate de chaux avec un sulfate (de NH4 ou de potasse ou de magnésie) ou un phosphate avec un engrais calcique. Par contre, le nitrate de potasse et l'acide nitrique peuvent être mélangés à tous les engrais. L'engrais utilisé doit être bien solubilisé dans l'eau afin d'éviter le colmatage. Ne pas appliquer d'engrais composés, sauf dans des cas exceptionnels de carences de plus de un nutriment, en tenant compte des interactions entre les éléments.

Concrètement l'opération de fertilisation se fait comme suit :
-Diviser le verger d'oliviers en blocs uniformes selon la nature du sol, l'âge, les variétés, le système de culture,…etc.
- Analyser le profil du sol, de préférence avant de planter le verger, pour identifier les carences, puis tous les trois ou cinq ans, en fonction du degré de fertilité du sol et le degré d'intensification de la culture.
- Prendre des échantillons de sol au niveau des horizons 0-30 cm et 30-60 cm
-Si l'analyse foliaire révèle une concentration d'azote supérieure aux limites, analyser l'eau d'irrigation ou trouver les raisons de ces valeurs.

Pour les applications au sol, appliquer du potassium près des racines, en particulier dans les sols argileux. Vérifiez que le rapport K / Mg n'est pas supérieur à un. Eviter les carences en magnésium causées par des concentrations élevées de potassium.
Ne pas appliquer la fertilisation azotée de maintenance annuelle lorsque la concentration d'azote des feuilles se trouve à l'intérieur de la gamme adéquate. Ne pas appliquer plus de 150 kg d'azote par hectare. Ne pas appliquer tout l'azote en une fois. Ne pas appliquer d'azote pendant le repos hivernal.

Viser les applications foliaires au printemps, lorsque les jeunes feuilles sont encore tendres. Éviter d'appliquer les nutriments au milieu de la journée; les applications de nuit sont recommandées

en période d'évaporation intense. Utiliser des agents mouillants pour favoriser l'absorption des produits.

Ne pas effectuer des applications foliaires de composés de fer, car ils ne sont pas efficaces pour remédier à cette déficience. Ne pas injecter de composés de fer dans le système vasculaire des arbres pendant la période d'expansion des feuilles.

Ne pas appliquer de bore sur des oliveraies plantées sur des sols calcaires de pH> 8 ou sur des terres sèches.

5. Le choix du système d'injection des l'engrais est primordial ; le plus utilisé est le venturi bien qu'il soit petit et ne permet pas l'injection d'une grande quantité de solution nutritive. Dans le cas de systèmes gérés à l'aide d'un programmateur, on peut préparer la quantité de solution nécessaire pour toutes les zones à fertiliser puis régler la durée d'injection en fonction des besoins de chaque zone.

6. N'injecter les engrais que lorsque les canalisations d'irrigation sont remplies d'eau sous pression. Après la fertigation il faut nettoyer tout le système d'irrigation et ce en le faisant fonctionner avec de l'eau ; ainsi la solution fertilisante est éliminée ; les engrais restants peuvent provoquer le bouchage des conduites et des goutteurs et la corrosion des matériaux. Les eaux d'irrigation peuvent renfermer des concentrations élevées de carbonates ou de fer, lesquels peuvent réagir avec les engrais pour former des composés insolubles. Certaines bactéries dont le métabolisme dépend du fer causent des dépôts de matière visqueuse ou gélatineuse sur les parois internes des canalisations. L'addition d'éléments nutritifs à l'eau d'irrigation peut favoriser la prolifération d'algues. Il est possible de déterminer le temps requis pour éliminer la totalité de la solution fertilisante des canalisations en utilisant un colorant.

7. Il faut contrôler le pH du sol, surtout lorsqu'on distribue des engrais ammoniacaux au goutte-à-goutte. Le risque d'acidification dépend du pouvoir tampon du sol. Le choix d'un type d'engrais approprié réduira le risque d'acidification du sol.

8. Afin de limiter les risques d'accumulation du sodium, l'eau d'irrigation devrait avoir un taux élevé de calcium et de magnésium par rapport au sodium. Une sécheresse accentuée provoque la salinité et, par conséquent, les accidents physiologiques dus à cette salinité. La mauvaise hygrométrie, par excès ou par défaut, provoque la fermeture des stomates et l'arrêt du fonctionnement de la plante.

9. Il faut arrêter la fertigation 50 jours avant la récolte, établir un programme de fertigation (N) hebdomadaire et ajuster le fertilisant selon les résultats de l'analyse foliaire.

10. Le système de fertigation doit être muni d'un dispositif d'anti-retour pour empêcher la solution nutritive de retourner à la source d'eau à l'arrêt de la distribution d'eau et protéger la nappe d'eau de la contamination par les nitrates. La pression doit être maximale en tête de station et au niveau des rampes afin de permettre l'injection de la solution nutritive et la pénétration de l'air dans les conduites ce qui mènerait à une mauvaise répartition de l'eau dans la parcelle. Les filtres doivent être installés avant le système d'injection des engrais et régulièrement nettoyés. Le système de fertigation doit être commandé à partir du système de pompage afin d'arrêter la fertigation en même temps que celui-ci.


Chapitre 9

ETAPES A SUIVRE POUR LA FERTILISATION INTEGREE DE L'OLIVERAIE

1) Evaluation de la fertilité du sol par analyse d'échantillons représentatifs pour chaque horizon et pour chaque compartiment,
2) Evaluer les quantités de bois de taille et de production de la campagne écoulée
3) Analyse foliaire au mois de juillet, permettant de déterminer les besoins nutritionnels de l'oliveraie. Les comparer aux standards (teneurs optimales).
4) Compléter le diagnostic foliaire par une inspection visuelle des symptômes.
5) Evaluer les exportations totales
6) Etablir un calendrier de fertilisation en rapport avec les stades phénologiques et du niveau de production escompté,
7) Choisir les engrais à utiliser, vérifier leur compatibilité.
8) Préparer les solutions nutritives, capsules…et appliquer le programme adapté à la culture étudiée.

NB.

-Lors de l'utilisation de fertigation, appliquer la quantité correspondante chaque jour d'irrigation. Ne pas appliquer d'engrais après l'été.

-Divisez l'application foliaire de potassium.

-Dans le cas d'une application au sol, répartissez l'engrais sur toute la surface, pas seulement sous les arbres, sauf en fertigation.





Chapitre 10

APPLICATIONS (ET CONVERSIONS)

Application 1

Le besoin de la culture est de 31 U d'azote / hectare (c.-à-d. 31 kg d'azote pur / ha). Quelle est la quantité apportée pour 3000 m^2 si on utilise un engrais contenant 15,5%N ?

Pour calculer la quantité d'engrais à 15,5% N à apporter, on divise l'apport recommandé par le % de N contenu dans l'engrais, puis on multiplie par 100 pour obtenir la quantité à épandre sur 1 hectare.

-Si on utilise un engrais azoté contenant 15,5% N : (31 / 15,5) x 100 = 200 kg d'engrais / ha

-Si le terrain mesure 3000 m^2, la quantité correspondante sera de (200/10) x 3 = 60 kg d'engrais (on divise la quantité obtenue à l'hectare par 10 pour la rapporter à 1000 m^2 puis on multiplie par 3).

Application 2

Apport de 60 U de N / ha pour faire reverdir la culture et reconstruire la fertilité du sol. Quel engrais peut on utiliser et à quelle quantité ?

On peut utiliser le nitrate d'ammonium (30% de N dont 15% sous forme ammoniacale et 15% sous forme nitrique). L'azote nitrique est directement assimilable (reverdissement rapide) ; l'azote ammoniacal sera disponible après transformation par les bactéries nitrifiantes du sol; ainsi, la culture sera pourvue en azote jusqu'à la récolte. Pour apporter 60 U (60 kg) de N à l'hectare, il faut diviser la quantité à apporter par le % de N dans le produit : (60/30) x 100 = 200 kg de nitrate d'ammonium POUR 1 HECTARE

Si la superficie est de 2000 m^2, la quantité à apporter sera de : 200 / 10 (pour 1000 m^2) x 2 (pour 2000 m^2) soit 40 kg de nitrate d'ammonium pour 2000 m^2.

Application 3

Un engrais est recommandé à la dose de 50 kg/ha. Quelle quantité doit-on épandre sur une surface de 2000 m^2 ?

Quantité correspondante à 2000 m^2: 50 kg/ha : 10 (pour 1000 m^2) x 2 (pour 2000 m^2)= 10 kg pour 2000 m^2 ou (50 kg/ha : 10000 (1ha)) x 2000 (m^2) = 10 kg

Application 4

Le sulfate d'ammoniaque contient 20% d'azote. Combien de kg d'azote y a-t-il dans 150 kg de sulfate d'ammoniaque ?

Le sulfate d'ammoniaque contient 20% d'azote ce qui veut dire que dans 100kg de sulfate d'ammoniaque il y a 20kg d'azote (N). En appliquant la règle de 3, on obtient 30 kg d'N pour 150 kg de sulfate d'ammoniaque : (20 kg d'N/100kg de sulfate d'ammoniaque) x (150 kg de sulfate d'ammoniaque), soit (20/100) x150 = 30 kg d'N.

Application 5

Si l'on considère un besoin de 300 g d'azote / arbre /an (par exemple pour de jeunes oliviers de 3-4 ans), cela signifie qu'il faut 3 kg d'engrais à 10%; si l'engrais n'est qu'à 8%, il en faut: 300g/0,08 = 3,75 kg d'engrais par an et par arbre.

Application 6

Un engrais calcique (cyanamide calcique) contient 19% d'N. Quelle quantité doit-on en apporter pour avoir 38 kg d'azote ?

L'engrais calcique contient 19% d'azote, c.-à-d. que dans 100kg de cet engrais il y a 19 kg d'azote (N).
En appliquant la règle de 3, on obtient 38 kg d'N pour 200 kg d'engrais calcique:
Soit (38/19) x100 = 200 kg d'engrais calcique.

Application 7

L'analyse d'échantillons de sol en laboratoire vous indique qu'il faut apporter 57 U d'N/ha pour corriger une déficience en azote, sachant que l'oliveraie couvre 1 ha. Quel engrais peut on choisir et à quelle dose ?

+Le nitrate d'ammoniaque est un engrais couramment utilisé, il contient 27% d'N.
Pour apporter 57U d'N/ha il faut : (57/27) x 100 = 211 kg de nitrate d'ammoniaque/ha.
+On peut aussi utiliser le sulfate d'ammoniaque qui contient 20,5% d'N.
Pour apporter 57U d'N/ha il faut : (57/20,5) x 100 = 278 kg de sulfate d'ammoniaque/ha.

Application 8

Une oliveraie de 5000 m^2 nécessite les apports suivants : 31U de N, 7U de P et 25 U de K pour corriger la déficience en éléments majeurs. Quel engrais peut on utiliser et à quelles quantités pour une oliveraie de 0,5 ha ?

Pour corriger la fumure de ce sol on peut utiliser :
+Le nitrate d'ammoniaque à 27%d'N : (31U/27) x 100 = 115kg de nitrate d'ammoniaque/ha
+Le superphosphate à 14% de P : (7/14) x 100= 50 kg de superphosphate/ha
+Le sulfate de potasse K_2SO_4 à 50% de K : (25U/50) * 100 = 50kg de sulfate de potasse/ha.
Comme l'oliveraie a une superficie de 5000 m^2 (0,5 ha), toutes les quantités devront être : 2. L'oléiculteur apportera donc : 57Kg de nitrate d'ammoniaque, 50 kg de superphosphate et 50 Kg de sulfate de potasse (faible solubilité).

Application 9

*Un oléiculteur peut produire de **l'huile biologique** sur un terrain de 10 ha. Les analyses au laboratoire ont montré qu'il a besoin d'un amendement de 30 U de N, 20 U de P et 10 U de K, sachant qu'il peut utiliser de la poudre d'une céréale (10% N et 5,5% P) et de la cendre de bois (3,5% P et 10% K).*
Quelle quantité d'engrais organiques (biologiques) faut-il apporter ?

La poudre de céréale contient 10% d'N, 5,5% de P et 0% de K. Pour avoir 30 U d'N/ha il faut apporter 300 kg de poudre de céréale, qui apportera aussi 16,5 kg de P.
Selon les analyses au laboratoire, on doit apporter aussi 20 U de P, il manque donc 3,5 U de P, qu'on peut apporter par 100 kg de cendres en utilisant de la cendre de bois qui contient 3,5 kg de P pour 100 kg de cendres.
Les centres de bois contiennent aussi du potassium. Les 100 kg apportés pour couvrir les besoins en phosphore apportent aussi 10U (kg) de K, juste la dose nécessaire.
Pour 1 ha l'oléiculteur apportera : 300 kg de poudre de céréales/ha, qui fourniront 30 kg de N et 16,5 kg de P, 100 kg de cendre de bois/ha, qui apporteront 3,5 kg de P et 10 kg de K.
Comme le terrain a une superficie de 10 ha, l'oléiculteur apportera 3 tonnes de poudre de céréales et 1 tonne de cendre de bois comme fumure de correction.

NB :
300 kg de poudre de céréale/ha = 300 kg /10 000 m^2 = 0,03 kg pour 1m^2
100 kg de cendre de bois/ha = 100 kg/ 10 000m^2 = 0,01 kg pour1m^2.

Application 10

Quantités d'engrais nécessaires en ferti-irrigation
Procédure de calcul

Données:

• **Culture:** X
• **Concentration d'engrais en ppm NPK:** 180-50-250 (exemple)
• **Type d'engrais disponible:**
Nitrate d'ammonium (33,5-0-0) NH_4NO_3
Phosphate bi-ammonium DAP (16–48–0) $(NH4)_2HPO_4$
Chlorure de potassium (0-0-60) KCl
• **Débit du système:** 23 m^3/h
• **Dose d'irrigation:** 18 m^3 (avec un débit de 23m^3/h pour donner la dose de 18m^3 il faut 0,78 h soit 47mn qu'on peut mettre en 12-24-12 mn donc le temps de fertigation est de 24 mn).

Question : Quantité d'engrais à utiliser ?

Réponse: Les phosphates et le potassium sont donnés sous forme d'oxydes, par conséquent ils sont convertis en éléments P et K en les multipliant respectivement par 0,44 et 0,83.

Calcul des quantités d'engrais requises en grammes par m^3 d'eau :
K = 250 x 100 ÷ (60 x 0, 83) = 502g = 0,502 kg KCl
P = 50 x 100 ÷ (48 x 0, 44) = 0,237 kg $(NH_4)2HPO_4$
Cette quantité procure aussi 0,237 x 0,16 = 38 g de N.
N = (180-38) x 100 ÷ 33,5 = 424 g = 0,424 kg NH_4NO_3

Ainsi pour 18 m^3 d'eau, les quantités exactes sont:
0,502 kg x 18 = 9,036 kg KCL
0,237 kg x 18 = 4,30 kg $(NH_4)2HPO_4$
0,424 kg x 18 = 7,63 kg NH_4NO_3

Les quantités d'eau requises pour la dilution des quantités d'engrais ci-dessus sont estimées en tenant en compte de la solubilité des engrais (Tableau 23):
9,036 kg de KCL x 3 l = 27 litres.
4,30 kg Ca (H_2PO_4) x 2,5 l = 10,75 l.
7,63 kg NH_4NO_3 x 1 l = 7,63 l.

La quantité minimale d'eau nécessaire est de 45 litres.
Si les engrais sont dilués dans 60 litres d'eau et que la durée de l'irrigation est de 24 mn, le débit d'injection ou taux d'injection est de 60*60/24 soit 150 litre/heure ; faire passer de l'eau claire 12 min avant et 12 min après.

Application 11

Calcul des paramètres de la fertigation
Cas de l'olivier conduit en hyper intensif

Données:

Culture: plantation d'olivier de 3 ha cultivée selon un écartement de 4m x 1,5m soit 6 m^2 par arbre et 1666 arbres/ha
Dispositif d'irrigation : 1 goutteur de 4 l/h/arbre (soit un débit d'irrigation/ha de 4 l/h x 1666 = 6664 l/h/ha ou 6,7 m^3/h/ha et une pluviométrie fictive de 4 l/h : 6 = 0,66 mm/h). Soit un débit d'irrigation de 20 litres pour les 3 hectares.
Besoins en eau journaliers de 3 mm : couverts par une irrigation par jour soit un temps d'arrosage
Temps d'arrosage = Besoin en eau / Pluviométrie horaire = 3mm : 0,66 mm/h = 4 h 30 mn / ha
Les besoins de la culture en éléments majeurs sont de **10 kg N/ha, 10 kg P_2O_5 /ha et 13 kg K_2O/ha**

Engrais utilisés :
Phosphate mono-ammoniaque (12 - 61 - 0) : 12%N ; 61% P_2O_5 et 0% K_2O
Nitrate de potasse (13 - 0 - 46) : 13%N ; 0% P_2O_5 et 46% K_2O
Nitrate d'ammonium (33,5 – 0 – 0) : 33,5%N

Question : Quelle est la quantité d'engrais à utiliser et quel est le débit de la pompe doseuse ?

Réponse:

Calcul de la quantité d'engrais à apporter :

Apport du phosphore :
Se fait par un seul engrais : c'est le phosphate mono-ammoniaque 12-61-0 à 61% P_2O_5, soit un apport de 10 kg/ha : 0,61 = **16,4 kg d'engrais** avec un apport d'azote de 16,4 x 0,12=1,97 Kg de N
Apport du potassium :
Se fait par un seul engrais : c'est le Nitrate de Potasse 13-0-46 à 46% K_2O, soit un apport de
13 kg K_2O/ha : 0,46 = **28,3 kg d'engrais** avec un apport d'azote de 28,3 x 0,13 = 3,66 Kg de N**.**
Apport de l'azote :
Se fait simultanément par :
- 3,66 kg de N apportés par le Nitrate de Potasse 13-0-46 à 13%N.
- 1,97 kg de N apportés par le Phosphate mono-ammoniaque 12-61-0 à 12%N,

Soit au total 3,66 + 1,97 = 5,63 kg N apportés / ha

Comme les besoins de la culture sont de 10 kg N/ha, la quantité d'azote doit être complémentée par le nitrate d'ammonium à 33,5% : 10 – 5,63 = 4,37 Kg N/ha,
La quantité de nitrate d'ammonium (33,5-0-0) à apporter est de 4,37/0,335 = **13 Kg**.

Soit en conclusion
16,4 Kg de Phosphate mono-ammonique / ha.
28,3 Kg de Nitrate de potasse / ha.
13 kg de Nitrate d'ammonium / ha.

La quantité totale d'engrais nécessaire pour 3 ha sera de:

Phosphate mono-ammoniaque	16,4x 3 = 49,2 Kg / 3ha
Nitrate de potasse	28,3 x 3 = 84,9 Kg / 3ha
Nitrate d'ammonium	13 x 3 = 39 Kg / 3ha

Soit au total 57,7 Kg x 3 = 173,1 Kg d'engrais tous types confondus.
Volume de la solution du sol :

La solubilité détermine le volume d'eau nécessaire pour dissoudre l'engrais en question.
Phosphate : le max qu'on peut dissoudre est de 37 kg / 100 litres d'eau
Donc pour solubiliser 16,4 kg on utilise: $V_{eau\text{ - }phosphate}$ = 100 x 16,4 / 37 = 44 litres eau.
Potasse : le max qu'on peut dissoudre est de 31,6kg / 100 litres d'eau
Donc pour solubiliser 28,3 kg on utilise: $V_{eau\text{-}potasse}$ = 100 x 28,3 / 31,6 = 90 litres eau.
Azote : le max qu'on peut dissoudre est de 192 kg /100 litres d'eau
Donc pour solubiliser 13 kg de nitrate d'ammonium on utilise: $V_{eau\text{-}azote\,=}$ 100 x 13 / 192 = 7 litres eau

- Volume total d'eau : 141 l.

Par mesure de sécurité, le volume d'eau calculé sera majoré de 20% soit 170 l/ha.
Pour les 3 ha on aura besoin de 510 litres de solution mère.

Débit de la pompe doseuse :

Les postes d'irrigation ont une durée d'arrosage t(h) = 4 h30 mn.
L'injection des engrais doit être réalisée au milieu de la durée d'irrigation.
La loi du 1/4-1/2-1/4 donne environ1h d'irrigation - 2h30 de fertigation -1h d'irrigation
Le temps de rinçage pour obtenir une eau claire dans tout le réseau est de 1h.
Toute la solution mère doit être injectée dans les 2h30mn, ce qui conduit à un débit d'injection de :
Débit de la pompe d'injection : 510 litres / 2h30 soit 204 litres/h.

On réglera le débit de la pompe doseuse à 200 litres/heure.

Concentration de la solution mère = 173 Kg / 510 litres = 0,34 kg/litre.

Taux d'injection = Débit de la pompe doseuse (litre/h) / Débit d'irrigation (m^3/h) soit: 200/20 = 10 litres/m^3 soit un facteur de dilution de 100.

Salinité de l'eau d'irrigation = 0,34 /100 soit 3,4 g/litre, valeur correcte (Salinité < 4g/litre).
Si on dépasse cette valeur on réduit l'apport des engrais. Ou on utilise des engrais foliaires.

Préparation de la solution mère :
On verse dans l'ordre : l'eau, le phosphore mono - ammoniaque, le nitrate de potasse et à la fin le nitrate d'ammonium.

Le débit d'irrigation est de 6,7 m^3/h/ha x 3 = 20 m^3/h.

Sources : http://hortidact.eklablog.com/calculer-la-bonne-dose-d-engrais-site p829016. Ajusté par Masmoudi C. et Benzina N. (30-4-2020).



Conclusion

L'ASSOCIATION DE METHODES DE FERTILISATION/IRRIGATION DOIT ETRE TOUJOURS ENVISAGEE.

Par conséquent, il faut piloter l'irrigation correctement (utilisation d'outils adaptés: tensiomètres, bac classe A, lysimètres, formules empiriques...etc) et raisonner la fertilisation en fonction du niveau de rendement recherché et des facteurs de variation (fertilité du sol, …).





Références bibliographiques

AFIDOL., 2018. Association Française Interprofessionnelle de l'Olive. www.oleiculteursdupaysdefayence.fr.2017. Mai 2017. (AFIDOL 2000. Le nouvel olivier n°15, 16, 17-2000. / AFIDOL 2010. Le nouvel olivier n°77 – 2010 / AFIDOL 2011. Infolea 2020 n°9 – 2011 / AFIDOL 2012. Les guides de l'AFIDOL; Productions oléicoles en agriculture biologique, 2012).

Albornoz F., 2016. Crop responses to nitrogen over fertilization: A review. Scientia Horticulturae 205 (2016) 79–83.

Ben Khelil M., Larbi A., Sanaa M., Del Río V., Abadía J., Abadía A., Msallem M., 2009. The possibility of using inflorescence analysis to evaluate the nutritional status of olive trees. Olivebioteq S6-C3: 169-176.

Ben Khelil M., 2010. Determination of the nutritional status of the olive tree (*Olea europea*. L) by the method of floral diagnosis. Doctoral thesis in Agronomic Sciences. National Institute of Agronomy of Tunisia (INAT). Tunisia. 193 pages.

Ben Khelil M., Mustapha S., Larbi A., Msallem M., Del Río V., Abadía J., Abadía A., 2010a. Inflorescence Analysis as Alternative to Leaf Analysis to Evaluate the Nutritional Status of Olive Trees. Acta Horticulturae. (ISHS) 68:237-242.ISBN: 978-90-66054-691. http://www.actahort.org/books/868/868_30.htm

Ben Khelil M., Sanaa M., Msallem M., Larbi A., 2010 b. Floral Analysis as a new approach to evaluate the nutritional status of olive trees. J. Plant Nutr. 33: 1–13.

Ben Khelil M., Sanaa M., 2013. Response of Arbequina olive tree to reasonable fertilization. African Journal of Agricultural Research Vol. 8(29), pp. 3911-3920, 1 August 2013. DOI: 10.5897/AJAR11.1190. ISSN 1991-637X. Academic Journals http://www.academicjournals.org/AJAR.

Ben Mimoun M., Loumi O., Ghrab M., Latiri K., Hellali R., 2004. Foliar potassium application on olive tree. Regional workshop on potassium and fertigation development in west Asia and North Africa, Rabat, Morocco. November, 24–28/ 2004.

Ben Mimoun M., Loumi O., Ghrab M., Latiri K., Hellali R., 2004. Foliar potassium application on olive tree. Regional workshop on potassium and fertigation development in west Asia and North Africa, Rabat, Morocco. November, 24–28/ 2004.

Ben Mimoun M., Loumi O., Gharab M., Latiri K., Hellali R., 2005. Revue H.T.E. N°131 - Mars/Juin. pp 61-64.

Ben Rouina B., Taamallah H. Ammar E., 1999. Vegetation water used as fertilizer on young olive plants. *Acta Horticulturae* 474: 353–355.

Ben Rouina A., Trigui A., Boukhris M., 2002. Effect of tree growth and nutrients status of Chemlali de Sfax olive trees and their productivity. Acta Hort. 586: 349–352.

Ben Rouina B., Gargouri K., Abichou M., Rhouma A., Magdich S., Ayadi M., Triki M.A., Jilani S., Soua N., Yousfi M., Ouled Amor A., Chebli T., Jribi A., Labiadh L., Magdich S., 2015. The valuation of vegetable as agricultural fertilizer in olive growing: "From the olive to olive" Sustainable management of natural resources. Eds.,: Institut de l'Olivier- Commissariat Régional du Développement Agricole de Sfax – Office des Terres domaniales - Tunisie https://www.google.tn/THE VALUATION OF VEGETABLE AS AGRICULTURAL FERTILIZER IN OLIVE GROWING: "FROM+THE+OLIVE+TO+OLIVE. 25 May 2019.

Ben Rouina B., 2019. Utilisation des margines en oléiculture. Premier Séminaire sur la fertilisation de l'olivier, INRAT, 23 Octobre 2019.

Boulal H., Sikaoui L., El Gharous M., 2013. Nutrient Management: A New Option for Olive Orchards in North Africa. North Africa. Better Crops / Vol. 97, N°4. Pp 21-22.

Bouranis D.L., Kitsaki C.K., Chorianopoulou S.N., Aivalakis G., Drossopoulos J.B., 1999. Nutritional diagnosis of olive tree flowers. J. Plant Nutr. 22: 245–257.

Boussadia O., Steppe K., Zgallai H., Ben ElHadj S., Braham M., Lemeur R., Vanlabeke MC., 2008. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars 'Meski' and 'Koroneiki'. Scientia Horticulturae, 123. Pages 336–342.

Braham M., 1999. Evaluation des exportations en azote, phosphate et potassium d'un hectare d'oliviers "Chemlali" (Olea europaea L.). Revue Ezzaitouna 5 (1 et 2). pp. 22-29.

Buchman B., Bres C., Prévot P., 1959. Foliar diagnosis of the olive irrigated tree in Tunisia. Oleaginous Plant J., 14: 163-173.

Buchman E., 1962. The fertilization of Olive tree. *In* The potassic fertilization in Mediterranean conditions. Account. Returned of the 7th Congr. of the International Institute of the Potash. Athens, pp. 471-496.

Cameira M.R., Pereira A., Ahuja L., Ma L., 2014. Sustainability and environmental assessment of fertigation in an intensive olive grove under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management, 146 : 346-360.

Caporali S., 2015. Fertilization with N and K increases oil and water content in olive (Olea europaea L.) fruit via increased proportion of pulp. Scientia Horticulturae 192. pp. 381-386.

Charfi Masmoudi C., Ben Mechlia N., 2009. Mineral uptakes of macro-nutrients in Tunisian olive (Olea europaea L.) orchards during the first years after plantation. Advances in Horticultural Science, 2009: 211-218.

Chatzissavvidis C., Therios I., 2003 The effect of different B concentrations on the nutrient concentrations of one olive (*Olea europaea* L.) cultivar and two olive rootstocks. In: Stefanoudaki, E. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on the Olive Tree and the Environment*, 1–3 October 2003, Chania, Greece, pp. 214–220.

Chartzoulakis K.S., 2005. Salinity and olive: growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. Agricultural Water Management, 78: 108–121.

Chatzissavvidis C., Therios I.N., Antonopoulou C., 2004. Seasonal variation of nutrient concentration in two olive (Olea europaea L.) cultivars irrigated with high boron water. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 79. pp. 683-688.

Chatzissavvidis C.A., Therios I.N., Molassiotis A.N., 2005 Seasonal variation of nutritional status of olive plant as affected by boron concentration in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition* 28: 309–321.

Chatzistathis Th., Therios I., Patakas A., Gianakoula A., 2006. The influence of manganese nutrition on the photosynthetic rate, transpiration, stomatal conductance and chlorophyll fluorescence of two olive cultivars. In: *Proceedings of the 2nd International Seminar Olivebioteq*, 5–10 November 2006, Marsala-Mazara del Vallo, Italy, 1, pp. 485–488.

Chatzissavvidis C.A., Therios I.N., Antonopoulou C., 2007. Effect of nitrogen source on olives growing in soils with high boron content. Australian Journal of Experimental Agriculture, 47 : 1491-1497.

COI 2007. FERTILIZATION OF OLIVE ORCHARDS: Chapitre 5. Fertilisation p.158. Spatial variability in soil fertility.

Commission Nationale pour l'Amélioration de la productivité de l'Olivier. 2011. Rapport de Synthèse pour la région du Nord. Institut de l'Olivier, Mai 2011. 10 pages.

Connel J ., Vossen P., 2007. Table Olives. Eds. Kailis Stan and David Harris.

Dbara D., Haworth M., Emiliani G., Ben Mimoun M., Gómez-Cadenas A., Centritto M., 2016. Partial root-zone drying of olive (*Olea europaea* var. 'Chetoui') induces reduced yield under field conditions. *PlosOne* 11: e0157089, doi:10.1371/journal.pone.0157089.

Delgado A., Benlloch M., Fernández -Escobar R., 1994. Mobilization of boron in olive trees during flowering and fruit development. Hort. Sci., 29: 616-618.

De Monpezat G., De Monpezat P., Veyrier F., 2000. Fertilization of Mediterranean soil with olive mill effluents: Monitoring of the effects on biological and chemical soil parameters and olive tree nutrition. Xth Int. Coll. For Optimisation of plant Nutrition. Cairo-Egypt.

Erel R., Dag A., Ben-Fal A., Yermiyahu U., 2008. Flowering and Fruit Set of Olive Trees in Response to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium. J. AMER. SOC. HORT. SCI. 133(5):639–647.

FAO., 1984. Los análisis de suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. *Boletín de suelos,* 38/2, Roma.

Favreau P., 1982. La fertilisation. Le Nouvel Olivier n°50, Septembre 1982. afidol.org/oléiculteur/fertilisation/Exportations en éléments minéraux en vergers d'olivier. D'après une extrapolation des travaux de Favreau - Septembre 2017.

Fernández-Escobar R., Barranco D., Benlloch M., 1993. Overcoming iron chlorosis in olive and peach trees using a low-pressure trunk-injection method. HortScience, 28: 192–194.

Fernández -Escobar R., 1997. Fertilization. In: Olive Tree Cultivation, eds. D. Barranco, R. Fernández – Escobar, L., Rallo. Madrid: Mundi-Prensa. pp. 229–249.

Fernández-Escobar R., Marín L. 1999. Nitrogen fertilization in olive orchards. Acta Horticulturae, 474: 333–335.

Fernández-Escobar R., Moreno R., García-Creus M., 1999: Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. Scientia Horticulturae, 82 (1-2): 25-45.

Fernández –Escobar R., 2004. Fertilización. In: D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo (eds.). El cultivo del olivo (Barranco D., Fernández-Escobar R. and Rallo L., Ed. Mundi-Prensa, Madrid, Spain. pp. 286–319.

Fernandez-Escobar R., Beltran G., Sanchez-Zamoura M.A., Garcia-Novelo J., Aguilar M.P., Uceda M., 2006. Olive oil quality decreases with nitrogen over – fertilization. HortScience, 41 (1) : 215-219.

Fernández-Escobar R., 2007. Production Techniques in olive growing. Chapter 5. Fertilization. pages 142-164 Ed. COI 2007.

Fernández-Escobar R., Ortiz-Urquiza A., Prado M., Rapoport H.F. 2008. Nitrogen status influence on olive tree flower quality and ovule longevity. Environ. Exp. Bot. 64:113-119. doi:10.1016/04.007 http://dx.doi.org/10.1016/04.007.

Gargouri K., Rigane H., Arous I., Touil F., 2012. Evolution of soil organic carbon in an olive orchard under arid climate. Scientia Horticulturae, 152. pp. 102-108.

Gargouri K., Mhiri A., 2003. Relationship between soil fertility and phosphorus and potassium nutrition of the olive in Tunisia. Options méditerranéennes N° 50. pp. 199-204.

HAIFA-GROUP. 2016. OLIVE GUIDE: MINERAL NUTRITION OF OLIVE TREES - Nutritional recommandations for olives. Haifa-group.com/files/Guides/Olive_Booklet.pdf. 83 pages. October 2016. www.haifa-group.com › Knowledge Center › Crop guides › Olives. https://www.google.tn/sinject fertilizers to olive trunk.

Huber G., Schaub C., 2011. Guide des fertilisants azotés utilisables en bio. Agricultures et Terroirs. Chambre d'Agriculture Bas-Rhin. 16 pages.

Institut de l'Olivier. 2014. Rapport d'activités annuel de l'Institut de l'Olivier. 2014.

I.O.B.C., 2002. Guidelines for integrated production of olives. IOBC/WPRS Bulletin 25.

I.O.C., 2012. International Olive Council. www.internationaloliveoil.org.

Larbi A., 2002. Clorosis ferrica : respuestas de las plantas y métodos de correccion. Mémoire d'obtention du titre de docteur ingénieur agronome. Université de Lleida – Espagne. 359 pages.

Larbi A., Ayadi M., Drira I., Gragouri K., Larbi A., et al., 2008. Effect of foliar boron application on growth, phenology, yield and oil quality of olive trees (cv. Arbequina) conducted under a high density planting system. Proc. 6th Int. ISHS Symp. On Mineral Nutrition of Fruit Crops, Faro, S5 P12 .

Larbi A., Gargouri K., Ayadi M., Ben Dhiab A., Msallem M., 2011. Effect of foliair boron application on growth, reproduction, and oil quality of olive trees conducted under a high density planting system. Journal of Plant Nutrition, 34 (14): 2083-2094 https://doi.org/10.1080/01904167.2011.618570.

Le Verge S., Zazzaron C., 2017. Fertilisation et Irrigation (entretien du verger). Conférence organisée par l'association des oléiculteurs du pays de Fayence. Septembre 2017.

López-Granados F., Jurado-Expósito M., Alamo S. Garcia-Torres L. 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (Olea europaea L.) orchards. European Journal of Agronomy, 21 : 209–222.

Loussert R., Brousse G., 1978. L'Olivier. Techniques. Méditerranéennes et Productions Agricoles. Tome 1. G.P.Maisonneuve et Larose, Paris, France.

Masmoudi-Charfi C., Gargouri K., Habaieb H., Daghari H., Abid-Karray J., Rhouma A., 2012. "Manuel l'irrigation de l'Olivier. Techniques et Applications". 110 pages. Ed., Institut de l'Olivier.

Mengel K., Arneke WW., 1982. Effect of potassium on the water potential, the pressure potential, the osmotic potential and cell elongation in leaves of Phaseolus vulgaris. Physiol Plant, 54: 402–8.

Morales-Sillero A., Fernández J.E. Troncoso A., 2006. Table olives and oil quality can be affected by fertigation. In: Proceedings of the 2nd International Seminar Olivebioteq, 5–10 November 2006, Marsala-Mazara del Vallo, Italy, 2, pp. 173–176.

Morales-Sillero A., Rapoport H., Fernandez J.E., Troncoso A., 2008. Olive fruit pulp and pit growth under differing nutrient supply. Scientia Horticulturae 117 : 182-184. / Morales-Sillero A., Jimenez R., Fernández J.E., Troncoso A., Beltran G., 2007. Influence of Fertigation in Manzanilla de Sevilla Olive Oil Quality. Am. Soc. Hort. Sci. 42 (5): 1157-1162.

Morales-Sillero A., Jiménez R., Fernández J.E., Troncoso A., Rejano L., 2008 b. Effect of Fertigation on the 'Manzanilla de Sevilla' Table Olive Quality Before and After "Spanish-style" Green Processing. HortScience. February 2008 vol. 43 no. 1 153-158.

Msallem M., Masmoudi-Charfi C., 1997. Effets de la dose et de la période de pulvérisation foliaire d'urée sur la productivité de l'olivier de table Meski. Revue Ezzaitouna Vol. 3 (1-2): 26-38.

Palese A.M., Celano G., Xiloyannis C., 2000. Le esigenze nutrizionali del l'olivo. Fruttcoltura, 10. pp. 50-53.

Papadopoulos I., 1996. In Advanced short Course on Fertilization-Irrigation: Fertigation. Eds. INAT/CIHEAM/MAI-B and CEC-DGI. Compilation: Hamdy A, Lacirignola C., and Mhiri A., October 20-November 3, 1996, Tunis, Tunisia. Source: file:///C:/Users/hp/Desktop/FERTIGATION/Les engrais en oléiculture.html

Parra M.A., Fernández-Escobar R., Navarro C., Arquero O. 2003. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Mundi-Prensa, Madrid.

Pereira LS., De Sousa PL, Trout T 1991. Fertigation through improved surface irrigation systems: A case study. Fertigation/Chemigation. Cairo, FAO, AGL/MISC/19/91:p57-66

Phocaides, A., 2008. Manuel des techniques d'irrigation sous pression. FAO - Seconde Edition.

Policarpo M., Lo_Bianco R., Di_Marco L., 2008. Foliar fertilization in 'Nocellara del Belice' olive trees. Acta horticulturae 791(791): 381-385. DOI: 0.17660/ActaHortic.June 2008.791.55.

Regni L., Gigliotti G., Nasini L., Agrafioti E., Proietti P. 2017. Reuse of olive mill waste as soil amendment. Chapter 5: Olive Mill waste, 2017, 97-117.

Restrepo-Diaz H., Benlloch M., Fernández -Escobar R., 2008. Plant water stress and K+ starvation reduce absorption of foliar applied K+ by olive leaves. Sci. Hort. 116:409–413.

Romero-Gámez M., Castro-Rodríguez J., Suárez-Rey E.M. 2017. Optimization of olive growing practices in Spain from a life cycle assessment perspective Research article. Journal of Cleaner Production, Volume 149, 15 April 2017, pp. 25-37.

Rodrigues M.Â., Pavao F., J.I., Lopes, Gomes V., Arrobas M., Moutinho-Pereira J., Ruivo S., Cabanas J.E., Correia M.C. 2011. Olive Yields and Tree Nutritional Status during a Four-Year Period without Nitrogen and Boron Fertilization. Communications in Soil Science and Plant Analysis Volume 42, Issue 7.

Rosati A., Caporali S., Paoletti A. 2015. Fertilization with N and K increases oil and water content in olive (Olea europaea L.) fruit via increased proportion of pulp. Scientia Horticulturae, 192 : 381–386.

Rufata J., Villarb J.M., Pascualc M., Falguera V., Arbon´es A. 2014. Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an Arbequina olive orchard grown under super-intensive conditions. Agricultural Water Management. 144 (2014), 33–41.

Saidana D., Boussadia O., Ben Dhiab A., Ben Mariem F., Ghariani W., Braham M. 2014. Response of olive tree cultivars to different nutrient stress. Eur. Sci. J., 10(33). Pages 335- 358.

Saleh J., Hosseini Y., Ghoreishi M. 2016. Is Trunk Injection More Efficient Than Other Iron Fertilization Methods in Date Palms Grown in Calcareous Soils? Jour. Advanced Agricultural Technologies Vol. 3, 160-163. www.joaat.com/uploadfile/ 2016/1205/20161205032133485.pdf

Sánchez-Zamora M.A., Fernández-Escobar R., 2002. The effect of folia vs. soil application of urea to olive trees. In: ISHS Acta Horticulturae 594: International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants.

Sánchez-Rodríguez A.R., Canasveras J.C., del Campillo M.C., Barrón V., Torrent J., 2013. Iron chlorosis in field grown olive as affected by phosphorus fertilization. Europ. J. Agronomy, 51: 101–107.

Sanz M., Montanes L., 1995. Flower analysis as a new approach to diagnosing the nutritional status of the peach tree. J. Plant Nutr. 18: 1667–1675.

Soing P. 1999. Fertilisation des vergers: Environnement et qualité. CTIFL. Paris. 86 pages.

Tekaya M., Mechri B., Bchir A., Attia F., Cheheb H., Daassa M., Hammami M., 2013a. Enhancement of Antioxidants in Olive Oil by Foliar Fertilization of Olive Trees. Journal of the American Oil Chemists' Society. DOI 10.1007/s11746-013-2286-0. 12 pages.

Tekaya M., Mechri B., Bchir A., Attia F., Cheheb H., Daassa M., Hammami M., 2013b. Effect of nutrient-based fertilisers of olive trees on olive oil quality. 2013. J Sci Food Agric (2013) - Society of Chemical Industry. Published online in Wiley Online Library November 2012. wileyonlinelibrary.com/jsfa. 8 pages**.**

Tekaya M., El-Gharbi S., Mechri B., Chehab H., Bchir A., Chraief I., Ayachi M., Boujnah D., Attia F., Hammami M., 2016. Improving performance of olive trees by the enhancement of key physiological parameters of olive leaves in response to foliar fertilization. Acta Physiol. Plant (2016) 38:101. DOI 10.1007/s11738-016-2122-x.

Therios, I. 2009. Olives. Crop Production Sci. Horti. N°18. Chapter Fertilisation.409 pages.

Tsambardoukas V. 2006. Effects of N form on growth and mineral composition of the olive cv. 'Kalamon'. MSc thesis, Aristotelian University, School of Agriculture. Thessaloniki, Greece.

Van der Gulik T.W., Tam S.P., 2006. Irrigation fertilisante en Colombie Britannique: Pratiques et tendances. Colloque sur l'irrigation. L'eau, source de qualité et de rendement. 10/2/2006 Boucherville. Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Quebec (CRAAQ). 19 pages. Version en anglais sur le site Agrireseau.qc.ca.

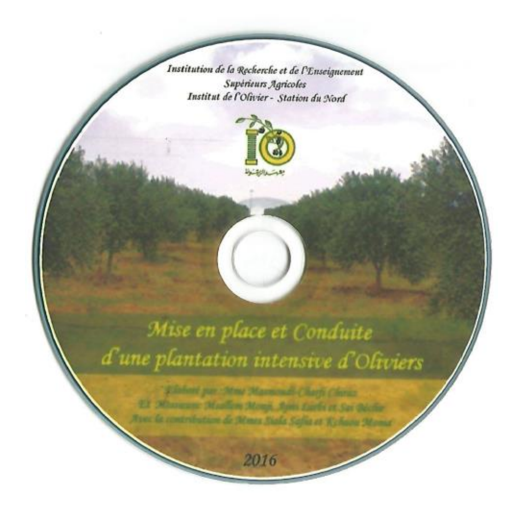
Veldeman R., 1980. Injection de solutions nutritives dans les hêtres menacés. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 1980, 37 (4), pp.361-370. <hal-00882230.https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00882230.

Vossen P. 2009. Olivebioteq S4-C2: 8-37.

Xiloyannis C., Celano G., Palese A.M., Dichio B., Nuzzo V., 2002. Mineral nutrient uptake from the soil in irrigated olive trees, cultivar Coratina over six years after planting. Acta Horticulturae, 386: 453-456.

Documents techniques

Masmoudi-Charfi Chiraz, Msallem Monji, Ajmi Larbi, Sai Béchir, Siala Safia, Kchaou Monia. 2016. Mise en place et Conduite d'une plantation intensive d'Oliviers. CD. Edition Institut de l'Olivier. Elaboré dans le Cadre de la Commission Nord pour la promotion du Secteur Oléicole. 115 Diapos.



Sources électroniques:

http://www.summerlandolives.com.au
http://www.oliveoilsource.com
www.joaat.com/uploadfile/2016/1205/20161205032133485.pdf
http://www.oliveoilsource.com/page/fertilizers-and-amendments
www.haifa-group.com
http://www.haifa-nutrinet.com/default.asp

Remerciements : Les auteurs remercient Dr. Dbara Soumaya, Maitre Assistante au Centre Technique de Chatt Mériem, Sousse et Dr. Bchir Amani et Dr Gragouri Kamel, Chercheurs à l'Institut de l'Olivier pour leur précieuse aide dans la recherche bibliographique.





Autres références utiles

Arquero O., Barranco D., Benlloch M., 2006. Potassium starvation increases stomatal conductance in olive trees. HortScience, 41 : 433-436.

Barranco D., Ercan H., Muñoz-Díaz C., Belaj A., Arquero O., 2010. Factors influencing the efficiency of foliar sprays of monopotassium phosphate in the olive. International Journal of Plant Production 4: 235-240.

Belguerri H., Villar J.M., Pascual M., Fatmi A., Amadeu A., Rufat J., 2016. A proposal of nitrogen balance in a very high density olive orchard. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8: 639-654.

Ben Rouina A., A. Trigui, Boukhris M., 2002. Effect of tree growth and nutrients status of ''chemlali de sfax'' olive trees and their productivity. Acta Hort., 586: 349–352.

Benlloch M., Arboleda F., Barranco D., Fernandez-Escobar R., 1991. Response of young olive trees to sodium and boron excess in irrigation water. HortScience, 26 : 867-870.

Berger K.C., 1949. Boron in soils and crops. Advances in Agronomy, 1: 321-351.

Beutel J., Uriu K., Lilleland O., 1976. Leaf analysis for California deciduous fruits. In: Reisenauer, H.M. (Ed.) Soil and Plant-Tissue Testing in California. University of California Cooperative Extension Bulletin 1879. pp. 15-17.

Birger R., Abd-ElHadi F., Ronen A., Cohe E., Ankorion Y., Najjar A., 2008. Increasing fruit size in table olives. Acta Horticulturae, 791: 249-256.

Bouat A., Renaud P., Dulac J., 1953. Study on the physiology of the nutrition of Olive tree. Second report. Agronomic Annals: pp. 599- 628.

Bouat A., Renaud P., Dulac J., 1954. Study on the physiological nutrition of Olive tree. Third report. Ann. Agron. Series A, 5: 459-489.

Bustan A., Avni A., Yermiyahu U., Ben-Gal A., Riov J., Erel R., Zipori I., Dag A., 2013. Interactions between fruit load and macro element concentrations in fertigated olive (*Olea europaea* L.) trees under arid saline conditions. Scientia Horticulturae, 152: 44-55.

Chaves M.S., 1975. Caractères des sols et fertilisation de l'Olivier cultivé et ses variations. Rev. Int. Bot. Appl. Agric. Trop. 303/304, pp. 145-154.

California Plant Health Association, 2002. Western Fertilizer Handbook 9th Edition. Interstate Publishers, Inc.

Connell J., 2011. Olive mineral nutrition.

Connell J., Vossen P.M., 2006. Fertility management for oil olives. First Press 1(3), 1-2.

Connell J.H., Ferguson L., Metheney P.D., Reyes H., Krueger W.H., Sibbett G.S., 2002. Effects of foliar application of urea on olive leaf nitrogen, growth and yield. Acta Horticulturae, 586: 251-254.

Crescimanno F.G., 1963. Esigenze nutritive: concimazione -Olive da tavola. *Edagricola*, Bologna pp. 161-182.

Crescimanno F.G., Sottile I., Averna V., Baza E., 1975. Ricerche sulla nutrizione minerale dell'olivi. Vai-iazioni del contenuto in N,P,K,Ca, e Mg in piante autoradicate e innestate. Rivista dell' Ortoflorofrutticoltura *Italiana* I: 48-71.

Elloumi O., Ghrab M., Ben Mimoun M., 2009. Responses of olive trees (cv. Chemlali) after five years of experiment to potassium mineral nutrition under rainfed condition. Proc. Int. Plant Nutrition Colloq. XVI, Davis, CA, http://escholarship.org/uc/item/2zb9p060. Aug 26-29, 2009.

Erel R., Dag R., Ben-Gal A., Schwartz A., Yermiyahu U., 2008. Flowering and Fruit Set of Olive Trees in Response to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium. J. Amer.Soc. Hort. Sci. 133(5): 639-647.

Erel R., Yermiyahu U., Van Opstal J., Ben-Gal A., Schwartz A., Dag A., 2013. The importance of olive (*Olea europaea* L.) tree nutritional status on its productivity. Scientia Horticulturae, 159: 8-18.

Erel R., Kerem Z., Ben-Gal A., Dag A., Schwartz A., Zipori I., Basheer L., Yermiyahu I., 2013. Olive (*Olea europaea* L.) tree nitrogen status is a key factor for olive oil quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61: 11261-11272.

Fahmy L., Nasrallah S., 1959. Changes in macro nutrient elements of Soury olive leaves in alternate blaring years. Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 72: 252-256.

Fédération de l'Agriculture Biologique, Bio-de-Provence. La filière oléiculture biologique 2011 en Provence Alpes Côte d'Azur - Juillet 2011.

Fergusin L., Sibbet S., Martin G., 1994. Olive Production Manual, University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, Oakland, CA, Publication 3353, 160 p.

Fernández J.E., Moreno F., Cabrera F., Arrue J.L., Martín-Aranda J., 1991. Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. Plant and Soil, 133: 239-251.

Fernández J.E., 2014. Understanding olive adaptation to abiotic stresses as a tool to increase crop performance. Environmental and Experimental Botany, 103: 158-179.

Fernández-Escobar R., Beltran G., Sanchez-Zamora M.A., Garcia-Novelo G., Aguilera M.P., Uceda M., 2006. Hort. Sci., 41(1): 215-219.

Fernández-Escobar R., Marin L., Sánchez-Zamora M.A., García-Novelo J.M., Molina- Soria C., Parra M.A., 2009. Long-term effects of N fertilization on cropping and growth of olive trees and on N accumulation in soil profile. European Journal of Agronomy, 31 : 223-232.

Fernández-Escobar R., 2011. Use and abuse of nitrogen in olive fertilization. Acta Horticulturae, 888 : 249-258.

Fernández-Escobar R., Antonaya-Baena M.F., Sánchez-Zamora M.A., Molina-Soria C., 2014. The amount of nitrogen applied and nutritional status of olive plants affect nitrogen uptake efficiency. Scientia Horticulturae, 167 : 1-4.

Fernández-Escobar R., Sánchez-Zamora M.A., García-Novelo J.M., Molina-Soria C., 2015. The amount of nitrogen applied and nutritional status of olive plants affect nitrogen uptake efficiency. Scientia Horticulturae, 167 : 1-4.

Fernández-Escobar R., Sánchez-Zamora M.A., García-Novelo J.M., Molina-Soria C., 2015. Nutrient removal from olive trees by fruit yield and pruning. HortScience, 50 : 474- 478.

Fichtner E., Lovatt C., 2013. Research advances on mitigation of alternate bearing in olive. Topics in Subtropics, February 8, 2013.

Freeman M., Uriu K., Hartmann H.T., 1994. In, L. Ferguson, G.S. Silbert, G.C. Martin (eds.). Olive Production Manual. Univ. CA. Division of Agri. and Resources. Publ. 3353, pp. 77-86. Oakland, California.

Freeman M., Uriu K., Hartmann H.T., 2005. Diagnosing and correcting nutrient problems. In: Sibbett, G.S., Ferguson, L., (Ed.). Olive Production Manual 2nd Edition. University of California Agricultural and Natural Resources Publication 3353. pp. 83-92.

Fulton A., 2010. Understanding and applying information from a soil test: Part 2 - NPK.

Fulton A., 2011. Understanding and applying information from a soil test: Part 4.

Gazeau G., 2012. Fertilisation des oliviers. Matières organiques, Fiche 9. Septembre 2012.

Gimenez C., Diaz E., Rosado F., Garcia-Ferrer A., Sanchez M., Parra MA., Diaz M., Pena P., 2001. Characterization of current management practices with high risk of nitrate contamination in agricultural areas of southern Spain. Acta Hort. 563:73-80.

Gómez-Muñoz B., Hinojosa M.B., García- Ruiz R., 2015. In situ net N mineralization and nitrification under organic and conventionally managed olive oil orchards. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 101 : 223-239.

Gregoriou C., El-Kholy M., 2010. In, AARINENA & FAO Ed., pp: 182-196, ISBN 978-92-5-106348-4.

Hartmann H.T., 1950. Olive flower bud formation. California Agriculture, 4(11): 4-16.

Hartmann H.T., 1958. Nitrogen fertilizers on olive. California Agriculture, 12(12) : 6-7.

Hartmann H.T., Brown J.G., 1953. The effect of certain mineral deficiencies on the growth, leaf appearance and mineral content of young olive trees. Hilgardia, 22(3): 119-130.

Hegazi E.S., Mohamed S.M., El-Sonbaty M.R., Abd El-Naby S.K.M., El-Sharony T.F., 2011. Effect of potassium nitrate on vegetative growth, nutritional status, yield and fruit quality of olive cv. "Picual". Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants, 3: 252-258.

Klein I., Weinbaum S.A., 1985. Foliar application of urea to almond and olive: Leaf retention and kinetics of uptake. Journal of Plant Nutrition, 8 : 117-129.

Larbi A., Gargouri K., Ayadi M., Ben Dhiab A., Msallem M., 2011. Effect of foliar boron application on growth, reproduction, and oil quality of olive trees conducted under a high density planting system. Journal of Plant Nutrition, 34 : 2083- 2094.

Leclerc B., 1989. Cinétiques de minéralisation de l'azote des fertilisants organiques et teneurs en nitrate chez Lactuca sativa et Daucus carota. Thèse de Doctorat, ENSA Toulouse. 237 pages.

Le Verge S., Centre Technique Olivier, AFIDOL www.oleiculteursdupaysdefayence.fr.2017.

Martinez Herminia E.P., Souza Ronessa B., Abadia Bayona V.H., Alvarez Venegas, Sanz M., 2003.Coffee-tree floral analysis as a mean of nutritional diagnosis. J. Plant Nutr. 26:1467–1482.

Morales-Sillero A., Jiménez R., Fernández J.E., Troncoso A., Beltrán G., 2007. Influence of fertigation in 'Manzanilla de Sevilla' olive oil quality. HortScience, 42: 1157-1162.

Nieto J., Arroyo P., Herrera M., Cruz H., Colmenero P., Guirao M.A., Linares R., Barbará M., Aguilar J.A., Menjívar J.C., Pastor M., 2000. Estado nutritivo de las plantaciones de olivar de la Comarca de Sierra Mágina en la provincia de Jaén. Edafología, 7 : 205-214.

Niederholzer F.J.A., 2013. Efficient nitrogen management in prune production. Sacramento Valley Regional Prune Newsletter, April, 2013.

Olive Oil Source: Fertilizers and amendments.

Olive Oil Source: Soil and water analysis.

Olive Oil Source: Frost prevention.

Ordóñez-Fernández R., Repullo-Ruibérriz de Torres, M.A., Román-Vázquez J., González-Fernández P., Carbonell-Bojollo, R., 2015. Macronutrients released during the decomposition of pruning residues used as plant cover and their effect on soil fertility. Journal of Agricultural Science, 153: 615-630.

Perica S., 2001. Seasonal fluctuation and intra canopy variation in leaf nitrogen level in olive. Journal of Plant Nutrition, 24: 779-787.

Perica S., Androulakis I.I., Loupassaki M.H., 1994. Effect of summer application of nitrogen and potassium on mineral composition of olive leaves. Acta Horticulturae, 356 : 221-224.

Perica S., Brown P.H., Connell J.H., Nyomura A.M.S., Dordas C., Hu N., 2001. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. HortScience, 36 : 714-716.

Porcelli C.A., Gutierrez Boem F.H., Lavado R.S., 1995. The K/Na and Ca/Na ratios and rapeseed yield, under soil salinity or sodicity. Plant Soil. pages 175:251.

Rapport d'activités de l'Institut de l'Olivier. 2014.

Rodrigues M.Â., Ferreira I.Q., Claro A.M., Arrobas M., 2012. Fertilizer recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and pruning. Scientia Horticulturae, 142: 205-211.

Restrepo-Díaz H., Benlloch M., Fernández-Escobar R., 2008. Plant water stress and K^+ starvation reduce absorption of foliar applied K^+ by olive leaves. Scientia Horti., 116: 409-413.

Restrepo-Díaz H., Benlloch M., Fernández-Escobar R., 2009. Leaf potassium accumulation in olive plants related to nutritional K status, leaf age, and foliar application of potassium salts. Journal of Plant Nutrition, 32: 1108-1121.

Rosecrance R.C., Krueger W.H., Total fruit nutrient removal calculator for olive in California.

Rufat J., Villar J.M., Pascuale M., Falguera V., Arbonés A., 2014. Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an Arbequina olive orchard grown under super-intensive conditions. Agricultural Water Management, 144 : 33-41.

Sanzani S.M., Schena L., Nigro F., Sergeeva V., Ippolito A., Salerno M.G., 2012. Abiotic diseases of olive. Journal of Plant Pathology, 94: 469-491.

Searles P.S., Saravia D.A., Rousseaux M.C., 2009. Root length density and soil water distribution in drip irrigated olive orchards in Argentina under arid conditions. Crop & Pasture Science, 60 : 280-288.

Spinardi A., Bassi D., 2012. Olive fertility as affected by cross-pollination and boron. The Scientific World Journal. doi:10.1100/2012/375631.

Stellacci A.M., Caliandro A., Mastro M.A., Guarina D., 2010. Effect of foliar boron application on olive (*Olea europaea* L.) fruit set and yield. Acta Horticulturae, 868 : 267-272.

Sibbett G.S., 1994. Pruning mature bearing olive trees. In: Sibbett, G.S., Ferguson, L., (Ed.). Olive Production Manual- 1st Ed. University of California Agricultural and Natural Resources Publication 3353. pp. 57-60.

Sibbett G.S., 2000. Nitrogen fertilization. In: UCCE Olive Notes, February 2000.

Sibbett G.S., Ferguson L., 2002. Nitrogen, boron, and potassium dynamic in "on" vs "off" cropped Manzanillo olive trees in California, USA. Acta Horticulturae, 586: 369-373.

Sibbett G.S., Ferguson L., Fichtner E., 2013. Best practices for growers.

Toscano P., Godino G., Belfiore T., Briccoli-Bati C., 2002. Foliar fertilization: a valid alternative for olive cultivar. Acta Horticulturae, 594 191-195.

Tous J.Y., Romero A. 2000. Ficha varietal de olivo Arbosona- IRTA- j 43 Olint, 2:13-15.

Troncoso A., Garcia J.L., Lavee S., 2006. Evaluation of the present information on the mechanism leading to flower bud induction, evocation and differentiation. 5th Inter Congress in Turky Acta Hort.

Tsadilas C.D., Chartzoulakis K.S., 1999. Boron deficiency in olive trees in Greece in relation to soil boron concentration. Acta Horticulturae, 474 : 341-344.

Vossen P.M., 2007. Current opportunities in the California olive oil industry. Proceedings of the 2007 Plant and Soil Conference of the California Chapter of the American Society of Agronomy. February 6 and 7. Radisson Hotel, Sacramento, California. pp. 157-167.

Wyn Jones R.G., Brady CJ., Speirs J., 1979. Ionic and osmotic relations in plant cells. In: Laidman DH, Wyn Jones RG, editors. Recent advances in the biochemistry of cereals. London: Academic Press; 1979. p. 63–103.

Yermiyahu U., Erel R., Ben-Gal A., Schwartz A., Dag A., 2009. The role of macro-nutrients in olive tree flowering and fruit set. Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, UC Davis.

Zayani K., 1996. In Advanced short Course on Fertilization-Irrigation: Fertigation. Eds. INAT/CIHEAM/MAI-B and CEC-DGI. Compilation: Hamdy A, Lacirignola C., and Mhiri A., October 20-November 3, 1996, Tunis, Tunisia.

Biographie des auteurs

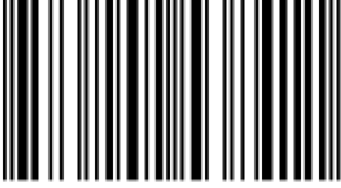
Dr. Naima KOLSI BENZINA, née en mars 1956 à Sfax, Tunisie. Professeur à l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT) en Sciences du Sol et Environnement. Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier puis titulaire d'un doctorat à la Faculté des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées de Gand puis d'une habilitation universitaire à l'INAT. Expérience académique d'enseignement des sciences du sol et environnement et de la fertilité et fertilisation/fertigation des sols depuis 1985. Mène une activité de recherche dans des domaines reliés à la fertilité des sols. Collaborant avec plusieurs organismes. Travaux et publications portant principalement sur des problématiques nationales de valorisation agronomique de divers résidus agronomiques, industriels (phosphogypse, boues résiduaires, boues de désencrage,…) et de composts, se penchant aussi bien sur les aspects positifs de ces sous produits en amendements de sols agricoles que sur les risques de pollution engendrés par leur utilisation.



Dr. Chiraz MASMOUDI CHARFI, née en Décembre 1965 à Tunis, Tunisie. Chercheur spécialiste en Oléiculture, Maitre de Conférences à l'Institut de l'Olivier (IO, 2014). Ayant obtenu le titre d'Ingénieur Agronome Spécialisé en Horticulture à l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT, 1992), du Diplôme d'Etudes Approfondies en Physiologie Végétale à la Faculté des Sciences de Tunis (1997) et du Docteur d'Etat en Agronomie à l'INAT (1998). Prix de l'Association Tunisienne des Sciences Horticoles (1992). *Thème de recherche actuel* : Gestion des plantations intensives d'olivier. Coordinatrice des projets nationaux 'Nutrition hydrique et minérale de l'olivier' au Laboratoire d'Amélioration de la Productivité de l'olivier (2007-2015) et 'Ressources Génétiques' au Laboratoire 'Production Oléicole Intégrée' (2016-2020). Membre du Groupe 'Productivité de l'eau' du Projet FAO SIDA (2018-2021) et coordinatrice des activités de la convention FAO/IO « Appui aux activités du projet GCP/RNE/009/SWE « Mise en œuvre du programme 2030 pour l'efficacité / la productivité de l'eau et la durabilité de l'eau dans les pays NENA» (2017-2020). Impliquée dans des projets de recherches multilatéraux : *DIMAS/2004/2008 (Contrat n°INCO-CI-2004-509087) / Projet de Coopération bilatérale et échanges de chercheurs Tunisie-Portugal (1999) / Projet Tuniso-Belge INAT/CGRE (1998/1999), Projet SIDA/FAO (2018-2021)*. Auteur de 2 ouvrages (*Presses Académiques Francophones*), de chapitres d'ouvrages (5, Eds. *Nova Sciences Publishers* NY), d'articles scientifiques (30) et de communications orales (35). Evaluateur d'articles scientifiques pour 14 revues internationales. Maitrise des logiciels courants et de gestion de l'eau (CropWat et AquaCrop6.1). *Activités de Développement* : Animation de cours de formation au profit des jeunes promoteurs et du personnel technique du ministère de tutelle. Assistance aux oléiculteurs et élaboration d'études pour la mise en place et la gestion des plantations oléicoles (17). Publications de documents techniques (9). Expérience de terrain : 17 ans. Bonne maitrise de l'arabe, français et anglais, parlés et écrits.

La fertilisation est destinée à restituer les éléments nutritifs prélevés par l'olivier au cours de son développement pour assurer le renouvellement des pousses et la production d'olives et d'huile. Les éléments essentiels à la culture (N, P, K et B) sont généralement fournis par amendement au sol ou par pulvérisation foliaire. D'autres méthodes sont de plus en plus utilisées comme l'épandage de broyât de bois de taille, l'apport d'additifs (acides aminés et hormones) et l'injection au tronc d'oligoéléments. Pour évaluer ces amendements, un programme de fertilisation devra être élaboré sur la base de l'objectif de production et du diagnostic foliaire. Les recherches actuelles ont permis de mettre au point des normes pour les principales variétés d'olivier cultivées en Tunisie. L'élaboration de calendriers de références est rendue difficile de part la diversité du matériel génétique et des modes de conduites existants. Cet ouvrage est destiné à l'oléiculteur averti. Les outils nécessaires pour assurer une gestion optimale de l'oliveraie y sont présentés ainsi que des applications et les procédures de calcul à partir desquelles il peut s'inspirer pour élaborer son propre programme.

Dr. Chiraz MASMOUDI, Chercheur à l'Institut de l'Olivier, Sp. Oléiculture. Recherches: Gestion de l'Eau en Oliveraie Intensive. Membre du projet FAO/SIDA / Dr. Naima BENZINA, Professeur à l'Institut National Agronomique de Tunisie, Sp. Sciences du sol et Environnement. Recherches: Fertilité des Sols, Valorisation Agronomique des Résidus.


978-620-2-53841-1